SERVICIO NACIONAL DE ADIESTRAMIENTO EN TRABAJO INDUSTRIAL

ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

MANUAL DE APRENDIZAJE

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

CÓDIGO: 89001406

AUTORIZACIÓN Y DIFUSIÓN

MATERIAL DIDÁCTICO ESCRITO

FAM. OCUPACIONAL : ADMINISTRADORES INDUSTRIALES

ESPECIALIDAD : ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

NIVEL : TÉCNICO MEDIO

Con la finalidad de facilitar el aprendizaje en el desarrollo de la formación y capacitación en la especialidad de ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL a nivel nacional y dejando la posibilidad de un mejoramiento y actualización permanente, se autoriza la APLICACIÓN Y DIFUSIÓN de material didáctico escrito referido a **ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES.**

Los Directores Zonales y Jefes de Centro de Formación Profesional son los responsables de su difusión y aplicación oportuna.

DOCUMENTO APROBADO POR EL GERENTE ACADÉMICO DEL SENATI

SENATI - GERENCIA ACADEMICA - DIRECCION NACIONAL

Nº de Página.....236.....

Firma .....

Nombre: Lic. Jorge Chávez Escobar

Fecha: .....*2012-08-24*.....

Registro de derecho de autor:

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES UN ENFOQUE GLOBAL ... 9
1.1. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES ... 9
1.2. ELEMENTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES ... 9
1.3. LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES COMO ARMA COMPETITIVA ... 12
1.4. LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES COMO FUNCIÓN ... 12
CAPÍTULO 2. ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS ... 15
2.1. ENFOQUE AGREGADO PARA POLÍTICAS DE INVENTARIOS ... 15
2.2. LOTE ECONÓMICO DE COMPRA PARA INVENTARIOS AGREGADOS ... 15
2.3. CURVA DE INTERCAMBIO ... 16
2.4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN AGREGADA DE INVENTARIOS ... 17
2.5. CASOS APLICATIVOS ... 19
CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN LINEAL ... 39
3.1. GENERALIDADES EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES ... 39
3.2. OPTIMIZACIÓN, MODELO, SISTEMA ... 39
3.3. PROGRAMACIÓN LINEAL, DEFINICIÓN, FORMULACIÓN ... 39
3.4. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE P.L ... 41
... 44
3.8. SOLUCIÓN POR MÉTODOS GRÁFICOS.
3.9 SOLUCIÓN POR MÉTODO SIMPLEX ... 47
3.10 PROBLEMAS RESUELTOS ... 51
CAPÍTULO 4. PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS ... 61
4.1. FUNDAMENTOS Y TÉCNICA DE REDES ... 61
4.2. PERT Y CPM. ... 62
4.2.1. Principios básicos ... 62
4.2.2. Construcción de un grafo. ... 64
4.3. PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS ... 67
4.4. CONTROL DE PROYECTOS ... 78
4.5. CONSIDERACIÓN DE LOS COSTOS EN LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO ... 79
4.6. NIVELACIÓN DE RECURSOS ... 85
CAPÍTULO 5. SISTEMAS MRP/ERP ... 89

5.1. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE MANUFACTURA (MRP II)..... 89
5.1.1. NIVELES DEL MRP II..... 90
5.1.2. ELABORACIÓN DEL PLAN MAESTRO..... 93
5.1.3. LÓGICA DEL MRP II..... 95
5.1.4. Puesta en marcha del sistema MRP. 96
5.1.5. Beneficios obtenidos de la aplicación del MRP. 99
5.1.6. Más allá del MRP. 99
5.2. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE LA EMPRESA (ERP)..... 100
5.2.1. Antecedentes de los sistemas ERP. 100
5.2.2. Definición de sistemas ERP. 101
5.2.3. Características de los sistemas ERP 101
5.2.4. Funcionalidades de los sistemas ERP. 104
5.2.5. ¿Cuáles son las nuevas tendencias? 105
5.2.6. Beneficios de sistemas ERP 106
5.2.7. Requerimientos para la implementación del sistema ERP. 106
5.3. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE DISTRIBUCIÓN (DRP)..... 107
5.3.1. Requerimientos de información en el DRP. 107
5.3.2. Beneficios del uso de DRP. 108
5.3.3. Proceso básico del DRP. 108
5.4. CASOS PRÁCTICOS. 109
CAPÍTULO 6. FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC)..... 113
6.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES..... 113
6.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE TOC..... 115
6.3. MEJORA DE LOS PROCESOS MEDIANTE LOS PRINCIPIOS DE TOC..... 117
6.4. TIPOS GENERALES DE FACTORES RESTRICTIVOS..... 119
6.5. LOGÍSTICA Y LA TOC..... 120
6.6. PROGRAMACIÓN Y LA TOC..... 122
6.7. CASOS PRÁCTICOS. 124
CAPÍTULO 7. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN JIT..... 130
7.1. ¿QUÉ ES JUST IN TIME?..... 130
7.2. LOS SIETE ELEMENTOS DE LA FILOSOFÍA JIT..... 130
7.3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR DESPERDICIO EN LA FILOSOFÍA JIT?..... 131

7.4. DESPERDICIO: IMPORTANCIA DEL FLUJO Y DE LA CALIDAD 134
7.5. IMPLANTACIÓN DEL JIT: PAPEL CRUCIAL DE LA ADMINISTRACIÓN 151
CAPÍTULO 8. SISTEMAS KANBAN 155
8.1. ¿Qué es un sistema Kanban? 155
8.2. INSTRUMENTOS DEL KANBAN 158
8.3. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA KANBAN 159
8.4. REGLAS DE KANBAN 162
8.5. NÚMERO DE TARJETAS KANBAN 163
8.6. VENTAJAS, LIMITACIONES Y FUNCIONAMIENTO 165
8.7. PROBLEMAS DE APLICACIÓN 166
CAPÍTULO 9. TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE MANUFACTURA 168
9.1. ENTORNO DE LAS TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE MANUFACTURA Y LAS NUEVAS TENDENCIAS 169
9.2. MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA (CIM) 172
9.3. CONTROL NUMÉRICO (NC) 174
9.4. CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) 175
9.5. CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO DISTRIBUIDO (DNC) 175
9.6. DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) 176
9.7. FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM) 176
9.8. DISEÑO Y FABRICACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD/CAM) 177
9.9. INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE) 178
CAPÍTULO 10. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ESBELTOS 179
10.1. ¿QUÉ ES LEAN? 179
10.2. EL CONCEPTO DE LEAN MANUFACTURING 179
10.3. OBJETIVOS DE MANUFACTURA ESBELTA 180
10.4. TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO CONTINUO COMPRENDIDAS EN EL LEAN MANUFACTURING 182
10.5. FILOSOFÍA 5S´S. 183
10.6. CAMBIO RÁPIDO DE HERRAMIENTA (SMED) 187
10.7. SISTEMAS POKA YOKE 191
CAPÍTULO 11. MEJORA CONTINUA Y SIX SIGMA 195
11.1. SIGNIFICADO DE SIX SIGMA 195

11.2. EL CICLO SHEWHART/DEMING 196
11.3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SEIS-SIGMA 197
11.4. DEFINIR EL PROBLEMA / SELECCIONAR EL PROYECTO 200
11.5. DEFINIR Y DESCRIBIR EL PROCESO 204
11.6. EVALUAR LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN 211
11.7. EVALUAR LA CAPACIDAD DEL PROCESO 212
11.8. OPTIMIZAR Y ROBUSTECER EL PROCESO 214
11.9. CONTROLAR EL PROCESO 216
CAPÍTULO 12. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (MPT) 222
12.1. EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO HACIA EL TPM 222
12.2. DEFINICIÓN DE TPM 224
12.3. OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS DEL TPM 225
12.4. LAS GRANDES PÉRDIDAS 226
12.5. LOS 8 PILARES FUNDAMENTALES 227
12.6. IMPLEMENTACIÓN DEL TPM 232
12.7. BENEFICIOS Y RESULTADOS DEL TPM 233

CAPÍTULO 1. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES, UN ENFOQUE GLOBAL.

1.1. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES.

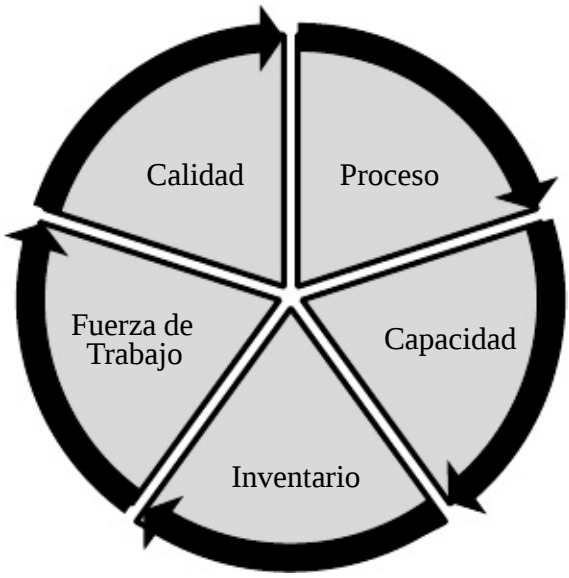
La administración de operaciones (o dirección de operaciones) puede definirse como la administración de los recursos directos necesarios para producir los bienes y servicios que ofrece una organización.
Son los administradores de operaciones los responsables de tomar decisiones en lo que respecta a las funciones operativas y a los sistemas de transformación empleados.

1.2. ELEMENTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES.

A. Función: la función de operaciones puede llamarse área o departamento de operaciones. Se encarga de producir bienes y servicios dentro de cualquier organización, como se puede notar en el siguiente cuadro:

B. Sistema: conjunto de elementos interdependientes que proporcionan una base común para definir las operaciones de manufactura y de servicio como sistema de transferencia. También proporcionan una base importante para el análisis y diseño de operaciones.

C. Decisiones: se refiere a la toma de decisiones como elemento importante en la administración de operaciones.
Las Áreas de decisión se muestran a continuación:



Las decisiones de operación.

1. Proceso:
   - Diseño del proceso físico de producción.
   - Selección del tipo de proceso.
   - Elección de tecnología.
   - Flujo de proceso.
   - Distribución de planta.

2. Capacidad:
   - Proporcionar suficiente capacidad de producción.
   - Planes de capacidad a corto, mediano y largo plazo.
   - Preparación de pronósticos.
   - Planeación de la instalación.
   - Planeación agregada.
   - Programación de actividades.

3. Inventario:
   - Fecha y volumen de los pedidos (cuándo y dónde ordenar).

4. Fuerza de Trabajo:
   - Líneas de productos.
   - Aumento de productividad.
   - Diseño de trabajo.
   - Estudio del trabajo.

5. Calidad:
   - Planeación y el control de calidad.
   - Fijación de estándares de calidad.

Caso aplicativo: Pizza Domino's.

Una compañía que produce y comercializa pizza a nivel nacional. La función de administración de Operaciones de esta Compañía se presenta en dos niveles: el nivel corporativo y el nivel de la tienda individual. Las decisiones de operaciones más importantes se describen:

Proceso: se desea uniformidad entre las distintas tiendas, o sea, instalaciones estándar con un diseño simple para acoplarse a una ubicación particular, el proceso se observa a través de una ventana de vidrio.

Capacidad: cuando se toman las decisiones sobre ubicación y el proceso, la personal corporativa fija la capacidad física, se efectúan la planeación de las fluctuaciones anuales, mensuales y diarias en la capacidad de servicio dentro de la instalación física disponible. (M.O. a medio tiempo, publicidad temporada baja).

Inventarios: los gerentes de cada tienda, a nivel individual, compran los ingredientes que se requieren para preparar las recetas que proporciona el personal corporativo. Seleccionan sus propios proveedores y deciden la cantidad de harina, pasta de tomate, etc. Que van a pedir, cuándo hacer los pedidos.

Fuerza de trabajo: los gerentes de tienda son responsables de la contratación, capacitación, supervisión y, si es necesario, despido de los trabajadores. Se toman decisiones sobre cada puesto y el número de gente que necesitan por tienda.

Calidad: el personal corporativo ha fijado ciertos estándares de calidad que deben satisfacer todas las tiendas. Esto incluye los procedimientos de servicio y del producto (temperatura de servido, cantidad de insumos y condimentos).

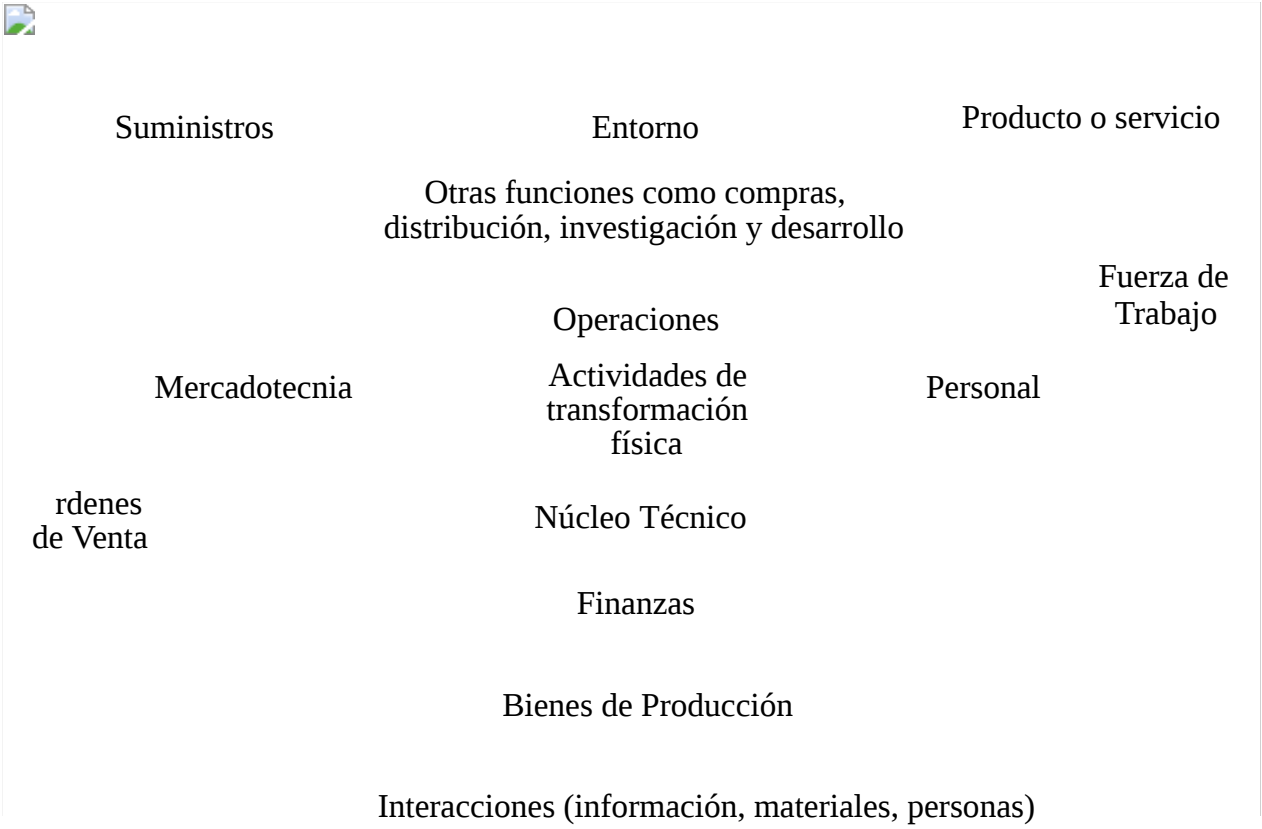
1.3. LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES COMO ARMA COMPETITIVA.

En gran parte a causa de la competencia externa y por la explosión de nuevas tecnologías, cada día se reconoce más plenamente que una empresa no sólo compite ofreciendo nuevos productos y servicios, marketing creativo y finanzas acertadas, sino también con habilidades únicas en materia de operaciones. La organización que es capaz de ofrecer productos y servicios superiores a precios más bajos es una competidora formidable.

1.4. LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES COMO FUNCIÓN.

En la mayoría de las empresas, las operaciones son una función interna, aislada del ambiente exterior por otras funciones de la organización, como se aprecia en la siguiente figura:

Considere la relación entre las operaciones, otras funciones de la organización y su entorno, presentada en la siguiente figura:



El departamento de ventas, que es una parte de la función de mercadotecnia, recibe los pedidos; los suministros y las materias primas se obtienen por medio de la función de compras; de la función de finanzas proviene el capital para la adquisición de equipo; la fuerza de trabajo se obtiene de la función de personal; y la función de distribución entrega el producto. De esta forma, aunque puede existir mucha interacción entre la empresa y su entorno, pocas veces participa directamente en ella la función de producción.

Aislar de la influencia directa del entorno a la función de producción es algo que tradicionalmente se ha considerado deseable, por varias razones:

a) La interacción con los elementos del entorno (por ejemplo, clientes o proveedores en el área de producción) puede representar una influencia molesta para el proceso de producción.

b) El proceso de producción directo muchas veces es más eficiente que el proceso requerido para obtener insumos y deshacerse de productos terminados.

c) En ciertas áreas tecnológicas (por ejemplo, líneas de montaje y refinerías de petróleo), solo se puede obtener la máxima productividad al operar como si el mercado pudiera absorber en forma continua todo el producto que se fabrica.

Esto quiere decir que el proceso de producción debe desplazar por lo menos a una parte de las actividades relacionadas con insumos y productos hacia otras partes de la empresa.

d) Las habilidades de gestión necesaria para la administración eficiente del proceso de producción, con frecuencia difieren de las requeridas para manejar con éxito los sistemas limítrofes, por ejemplo, el de mercadotecnia y personal.

CAPÍTULO 2. ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

2.1. ENFOQUE AGREGADO PARA POLÍTICAS DE INVENTARIOS.

Implica definirvalores apropiados de Costo de Ordenar (A) y de la tasa de posesión de inventarios (r), en el marco del enfoque agregado estas dos variables son consideradas como las bases para establecer las POLÍTICAS DE ADMINISTRACIÓN, las cuales permiten determinar:

- Inversión en inventarios.
- Número total de órdenes.
- Nivel de servicio del sistema.

Así mismo, es necesario establecer los LÍMITES para la política de inventarios, los cuales se establecen mediante:

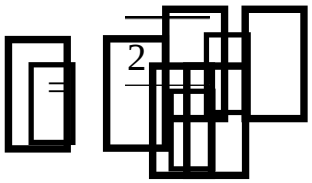
- Valor del Inventario Promedio Agregado.
- Número de órdenes.

Finalmente se establece la Operación en un punto razonable:

2.2. LOTE ECONÓMICO DE COMPRA PARA INVENTARIOS AGREGADOS.

Para el análisis de los Inventarios Agregados se utilizarán las siguientes fórmulas:

- Número de Ítems por producto.



Donde:

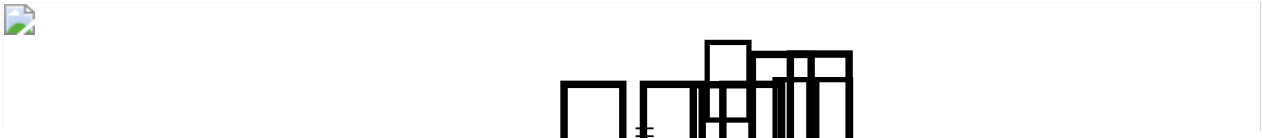
A: costo de ordenar.

Di: demanda del producto “i”.

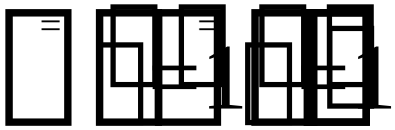
r: tasa de posesión de inventarios.

Vi: costo variable unitario del producto “i”.

- Stock de ciclo total (valor del inventario promedio) en unidades monetarias.



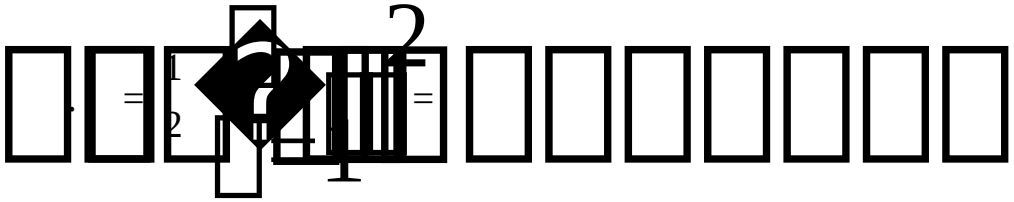
· Número de órdenes.

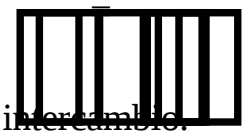


2.3. CURVA DE INTERCAMBIO.

Muestra la relación entre el Inventario Promedio Total en unidades monetarias (TCS) y el número de órdenes totales (N), tiene la forma de una hipérbola por lo tanto para cada punto ubicado sobre la curva de intercambio se cumplen las siguientes relaciones:

· Hipérbola.





A continuación se mostrará la curva de intercambio.

2.4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN AGREGADA DE INVENTARIOS.

La evaluación agregada ayuda a responder rápidamente a los cambios de la demanda y por la tendencia de los últimos años en que los clientes son más exigentes en la cantidad (pedidos grandes en tiempos cortos) y la calidad.

La administración de inventarios se centra en cuatro puntos:

i. Cantidad a producirse en un momento dado.
ii. El momento de producción para abastecer el inventario.
iii. Determinación y enfoque en los artículos que merecen atención especial.
iv. Diseño de métodos y estrategias para afrontar y reducir el impacto en los cambios en los costos de los artículos en inventario.

Objetivo.

Se tienen dos aspectos que se contraponen.

a. Se requiere minimizar la inversión del inventario para destinar recursos a diversas propuestas de inversión.
b. Hay que asegurar que la empresa cuente con un stock adecuado para hacer frente a la demanda.

Las áreas comerciales y financieras deben coordinar para que la primera tenga productos a ofrecer y la segunda no tenga capital inmovilizado.

Descripción de la problemática de la administración de inventarios.

i. Pronóstico agregado de la demanda.
ii. Política de inventario Actual y problemática existente en el manejo de inventario: No desean sobrepasar sus límites financieros y operacionales, pero esto no logra la mejor administración de inventarios.

> "Se recomienda una política de inventarios en base a la agrupación de ítems, en vez de trabajar independientemente".

Evaluación de la administración de inventarios y desarrollo de propuesta.

i. Selección de área de trabajo identificando una problemática: Ejemplo: Almacén de MP e insumos: "La administración actual no es la óptima, sólo intenta no sobrepasar los límites financieros y operacionales. Se deberá

buscar estrategias que cumplan con los límites así como que genere menores costes de posesión, emisión de pedidos y de stock".

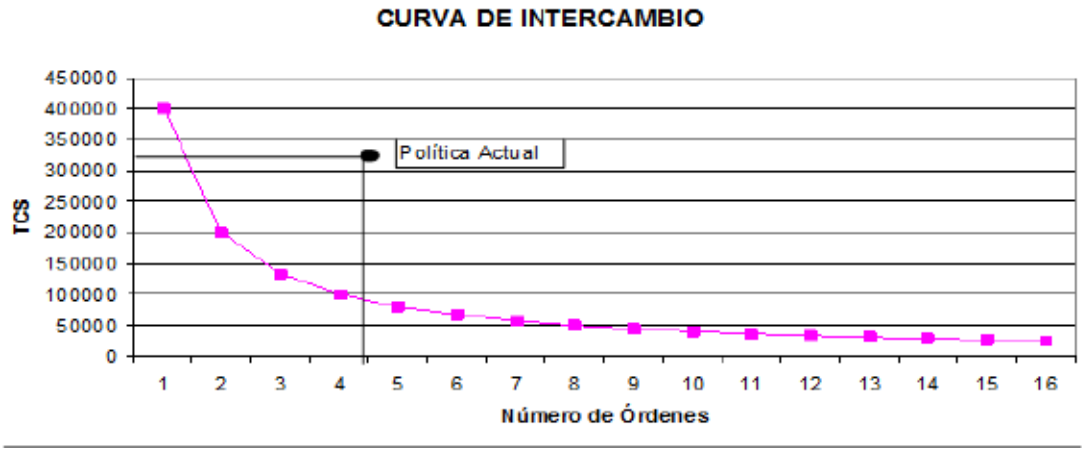
ii. Seleccionar un conjunto de ítems en el área de trabajo.

iii. Establecer medidas de efectividad (global) para los inventarios en estudio.

iv. Clasificación ABC: Identificar y clasificar el inventario existente en grupos con características de almacenamiento semejantes, para evitar desgastes y sobrecostos.

v. Establecimiento de política actual (TCS y N).

vi. Elaboración de la curva de intercambio: Con la clasificación ABC, se debe definir el tamaño del lote económico, el cuál varía según el A/r planteado, para visualizar el comportamiento del TCS según el número de órdenes a realizar.

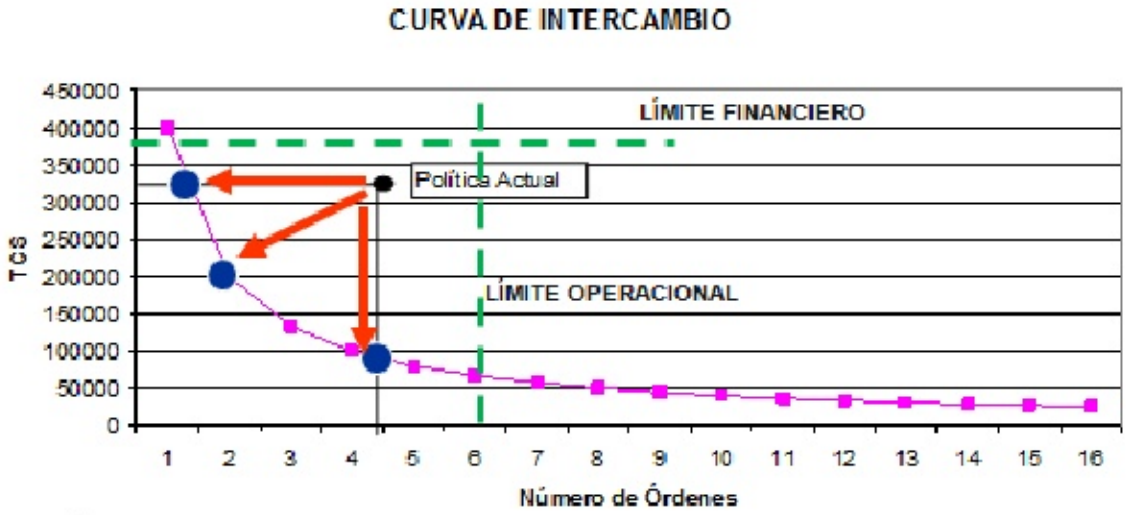


vii. Establecer los límites financieros y operacionales:
Límite financiero TCS1 ($/año).
Límite operacional: N de pedidos anuales.

viii. Para que una Política pueda ser considerada como óptima es necesario que se encuentre sobre la Curva de Intercambio, ello implica que existen tres posibilidades para nuevo punto de política propuesto:

1. Reducir el número de órdenes (N) manteniendo constante el valor del inventario promedio agregado en unidades monetarias (TCS), es decir trasladándose en sentido horizontal: ←
2. Reducir el valor del inventario promedio agregado en unidades monetarias (TCS) manteniendo constante el número de órdenes (N), es decir trasladándose en sentido vertical: ↓
3. Reducir tanto el valor del inventario promedio agregado en unidades monetarias (TCS) así como el número de órdenes (N), de manera

que la curva de intercambio se cruce con la recta A/r, es decir trasladándose en sentido diagonal:



ix. Para elegir la política de inventarios nueva se procede a analizar los costos involucrados en cada una de las tres opciones, se elige la menor.

x. También es conveniente realizar el mismo análisis considerando otro criterio de clasificación, por ejemplo en base a la demanda de clientes, los que generan más pérdida en términos monetarios, etc.

xi. Proponer política en base a la clasificación hecha y a los nuevos valores de TCS y N.

2.5. CASOS APLICATIVOS.

A continuación se presentará un caso completo sobre Inventarios Agregados, el cual tiene como objetivo aplicar la metodología propuesta en el marco teórico.

CASO EMPRESA METALSA

METALSA, es una empresa manufacturera que se dedica a la fabricación de productos elaborados a partir de metal, tales como cilindros, cuñetes y baldes.

La empresa cuenta con un área independiente que se encarga de la venta de sus productos a los clientes; por ende le debe solicitar al área de producción los productos solicitados a esta área. Es por eso que los inventarios a utilizar son los inventarios para venta, en base a la demanda de los clientes.

Los productos seleccionados fueron cilindros, baldes y cuñetas. Debido a la versatilidad de la demanda, cada uno de estos presenta diferentes características dependiendo del pedido, específicamente en la capacidad; sin embargo existen otras variables como espesor y tipo de cerrado.

Baldes	Cilindros	Cuñetes
· Capacidad (5,20lt). · Espesor (0.4). · Tipo de cierre (abierto, cerrado).	· Capacidad (55 lt). · Espesor (0.5,0.75,0.9,1.2). · Tipo de cierre(frh = cilindro con tapa removible y cerrados).	· Capacidad (55 lt). · Espesor (0.5,0.75,0.9,1.2). · Tipo de cierre(frh = cilindro con tapa removible y cerrados).

A continuación se presenta una lista de los productos que se tomaron en cuenta, junto con sus respectivas demandas y precios.

Número	Cliente	Demanda Anual (miles und)	Costo Promedio ($/und)
1	CIL 55 0.9 2T	145288	35
2	CIL 55 0.9 FRH	37358	38
3	CIL. 55 0.5 ASFALTO	32240	24
4	CIL 55 0.6 0.9 FRH	22894	31
5	BAL 5 0.4 ABIERTO	20194	7
6	CIL.55 1.2 2T ZINCADO	1698	61
7	BAL 5 0.4 CERRADO	12154	7
8	CIL.55 VARIOS 2T REACONDICIONADOS	4696	18
9	CIL. 55 0.75 FRH	1840	32
10	CUÑ. 15 0.9 FRH	2300	23
11	BAL.20 LT.0.4 CERRADO	4702	9
12	CIL.55 0.6 0.9 2T	520	36
13	CUÑ. 15 0.6 0.9 2T	600	24
14	CIL. 60 0.9 1.2 2T	204	39
15	CUÑ.35 0.9 FRH	250	31
16	CIL. 55 0.9 1.2 2T	152	41
17	CUÑ.11 0.9 FRH	200	20
18	CUÑ. 21 0.9 2T	100	30
19	CUÑ. 30 0.6 0.9 2T	60	24

Datos:

i. Rotación de inventarios al año = 52 por producto.
ii. Para la elección del punto óptimo se considerará el costo total de cada punto, para ello se definió el valor de r (tasa de posesión de inventario) = 25% anual, el cual se obtiene como la suma de:
    - Costo de capital = 15%.
    - Seguros = 2%.
    - Costo de almacenaje (como porcentaje del inventario promedio)= 5%.
    - Mermas, perdidas = 3%.
iii. Además del costo de pedir (A)= 21 dólares.
iv. Los límites financieros y operacionales establecidos por la empresa son los siguientes:
    - Límite financiero = 100 000 dólares al año.
    - Límite operacional = 4000 pedidos al año.

Por otro lado se ha considerado también incorporar criterios adicionales para realizar la clasificación, la empresa ha considerado implementar la clasificación en base a los clientes que posee, a continuación se muestra una lista de los clientes, la demanda de cada uno y el costo que le cobra METALSA a cada uno de ellos por unidad:

Número	Cliente	Demanda Anual (miles und.)	Costo Promedio ($/und.)
1	ALICORP (PIURA)	55062.00	34.90
2	CORP.JOSE R.LINDLEY	16600.00	31.50
3	PETROANDINA COMERCIO Y SUMINISTRO	20300.00	24.50
4	COLPEX INTERNATIONAL	13870.00	35.00
5	PACIFIC TRADING ORGANIZATION	12520.00	35.00
6	CHEM TOOLS	17328.00	24.00
7	CPPQ	10500.00	33.00
8	CILIPER	13678.00	23.00
9	QUICORNAC	7482.00	32.00
10	BASF PERUANA	6658.00	32.00
11	AGROINDUSTRIAS AIB	6000.00	33.00
12	ALICORP(LIMA)azul	5402.00	33.90
13	LAMINADOS	4780.00	35.7
14	AGROMAR INDUSTRIAL	5196.00	32
15	NCH PERU	7010.00	23.70
16	EMULSIONES Y DERIVADOS DEL PERU	5170.00	29.1
17	ISOPETROL LUBRICANTS (CAM2)	4600.00	32
18	CITRICOS PERUANOS	2398.00	61
19	QUIMICA SUIZA	3484.00	39
20	GERSON VILLA AYBAR	4538.00	25
21	MOBIL MOBIL	3200.00	35
22	INCA OIL	2860.00	38
23	CANDELA PERU	2814.00	37.6
24	SOLUCIONES QUIMICAS DEL PERU	2418.00	41
25	MOLY-COP ADESUR	2060.00	34
26	COMPAÑÍA QUIMICA	2052.00	33.5
27	PERUQUIMICOS	1950.00	34.5
28	ISOPETROL LUBRICANTS(PECSA)	2100.00	32
29	NEDERLAND PERU	1546.00	42.33
30	BASF CONSTRUCCION CHEMIALS PERU	1502.00	41.67
31	PROCESADORA FRUTICOLA	808.00	64

32	TINTAS GRAFICAS VENCEDOR	1440.00	34.5
33	COMERCIAL DINA E HIJOS	420.00	116.67
34	NOVA INDUSTRA TOOLS SAC	2000.00	23
35	EMULSIONES Y DERIVADOS	1400.00	29.1
36	FARMEX	4200.00	9.3
37	SIEMENS S.A.C.	1000.00	38
38	IMBAREX	724.00	40
39	COMERCIALIZADORA NISELPAC	3000.00	8.83
40	CASSADO	3484.00	7
41	FARMEX SA	2600.00	9.3
42	GLOBENATURAL INTERNACIONAL	580.00	39.6
43	ISOPETROL LUBRICANTS(CAM 2)	680.00	33
44	FRUTOS TONGORRAPE	600.00	34
45	ABB S.A.	498.00	38.83
46	ISOPETROL LUBRICANTS (MAXXOIL)	800.00	24
47	MOBIL (PETROLUBE)	500.00	35
48	ISOPETROL LUBRICANTS (GULF)	500.00	32
49	REACTIVOS NACIONALES SA	414.00	38.33
50	INVERS.Y REPRES.GENERALES YALICO	1630.00	9.38
51	PROQUINSA	1070.00	13.67
52	NEO DETER DEL PERU	2060.00	7
53	CORPORACION PERUANA DE PRODUCTOS	1800.00	6.8
54	E.SALAS INGENIEROS	1184.00	8
55	NOVA INDUSTRIAL TOOLS	4460.00	2
56	CORPORACION MARA	1000.00	7.67
57	PINTURAS INTERNATIONAL PERU SA	700.00	7.33
58	HENRY FRANKLIN CHAPOÑAN LORZA	710.00	7
59	CHEM CORP	612.00	7
60	CHEMIE	600.00	7
61	ADVANCED MOLECULAR FORMULAS PERU	484.00	7.33
62	LIDERTEC	414.00	6.5

Se pide:

En base a los datos mostrados realizar el análisis completo de inventarios agregados tanto para los productos como para los clientes y proponga la política de inventarios correspondiente.

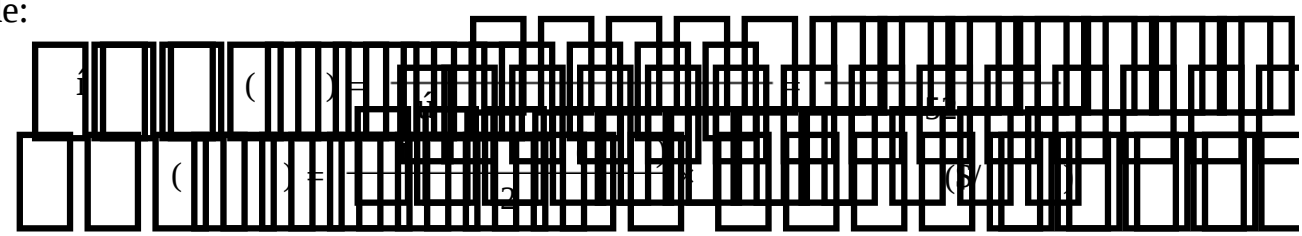
SOLUCIÓN DEL CASO.

Clasificación ABC.

Primero se calcula el Valor de Uso de cada producto mediante la multiplicación de la Demanda de cada producto y el costo promedio por unidad de cada producto

Número	Producto	Política Actual	Política Actual (Lote)	Stock de Ciclo (actual)	Número de Pedidos Actual
1	CIL 55 0.9 2T	52	2794,00	48425,22	52
2	CIL 55 0.9 FRH	52	718,42	13782,16	52
3	CIL. 55 0.5 ASFALTO	52	620,00	7285,00	52
4	CIL 55 0.6 0.9 FRH	52	440,27	6818,66	52
5	BAL 5 0.4 ABIERTO	52	388,35	1320,38	52
6	CIL.55 1.2 2T ZINCADO	52	32,65	995,94	52
7	BAL 5 0.4 CERRADO	52	233,73	813,13	52
8	CIL.55 VARIOS 2T REACONDICIONADOS	52	90,31	808,91	52
9	CIL. 55 0.75 FRH	52	35,38	566,15	52
10	CUÑ. 15 0.9 FRH	52	44,23	508,65	52
11	BAL.20 LT.0.4 CERRADO	52	90,42	406,90	52
12	CIL.55 0.6 0.9 2T	52	10,00	179,38	52
13	CUÑ. 15 0.6 0.9 2T	52	11,54	136,73	52
14	CIL. 60 0.9 1.2 2T	52	3,92	76,50	52
15	CUÑ.35 0.9 FRH	52	4,81	74,52	52
16	CIL. 55 0.9 1.2 2T	52	2,92	59,92	52
17	CUÑ.11 0.9 FRH	52	3,85	37,50	52
18	CUÑ. 21 0.9 2T	52	1,92	28,85	52
19	CUÑ. 30 0.6 0.9 2T	52	1,15	13,85	52
				82338,3	988,0

Donde:



Elaboración de curva de intercambio.

Para elaborar la curva de intercambio se realizó diversas iteraciones del valor de A/r, para cada iteración se obtuvo los valores de TCS y N, con ello se procedió a elaborar la curva de intercambio.

A continuación se presenta los resultados obtenidos luego de la iteración usando A/r=100000:

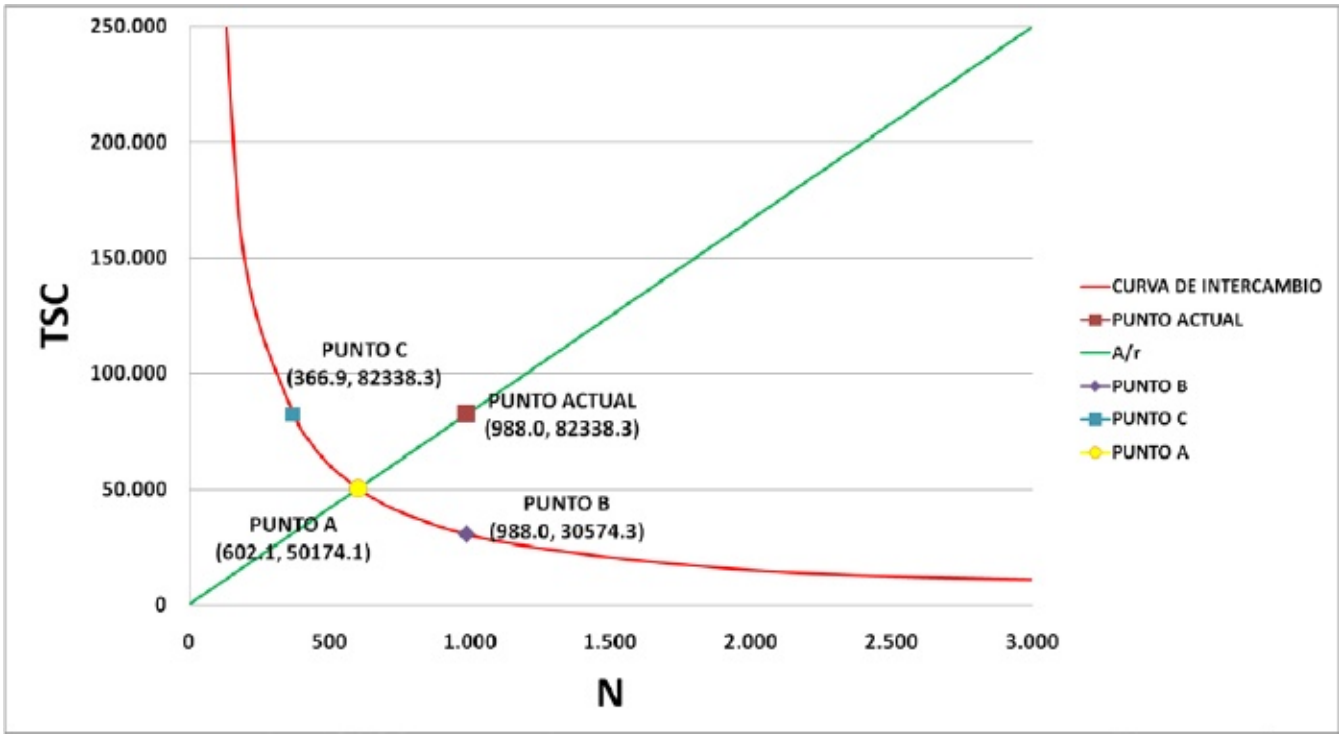
A/r 100000

Número	Cliente	Items Acum. (%)	Demanda Anual (miles und)	Costo Promedio ($/und)	Valor de Uso DxC	Valor de Uso Acum. ($)	Valor de Uso (%)	Clasificación ABC	EOQ	Stock Ciclo ($)	Número de Pedidos	I
1	CIL 55 0.9 2T	0.05	145288	35	5036223.01	5036223	58.81%	A	28952.91	501807.88	5.02	(
2	CIL 55 0.9 FRH	0.11	37358	38	1433345.08	6469568	75.55%		13954.79	267707.40	2.68	(
3	CIL. 55 0.5 ASFALTO	0.16	32240	24	757640.00	7227208	84.40%		16564.51	194632.99	1.95	(
4	CIL 55 0.6 0.9 FRH	0.21	22894	31	709140.35	7936348	92.68%	B	12158.24	188300.34	1.88	(
5	BAL 5 0.4 ABIERTO	0.26	20194	7	137319.20	8073668	94.28%		24370.91	82861.09	0.83	(
6	CIL.55 1.2 2T ZINCADO	0.32	1698	61	103578.00	8177246	95.49%		2359.49	71964.57	0.72	(
7	BAL 5 0.4 CERRADO	0.37	12154	7	84565.04	8261811	96.48%		18691.27	65025.01	0.65	(
8	CIL.55 VARIOS 2T REACONDICIONADOS	0.42	4696	18	84126.34	8345937	97.46%		7240.64	64856.13	0.65	(
9	CIL. 55 0.75 FRH	0.47	1840	32	58880.00	8404817	98.15%		3391.16	54258.64	0.54	(
10	CUÑ. 15 0.9 FRH	0.53	2300	23	52900.00	8457717	98.77%		4472.14	51429.56	0.51	(
11	BAL.20 LT.0.4 CERRADO	0.58	4702	9	42318.00	8500035	99.26%		10221.98	45998.91	0.46	(
12	CIL.55 0.6 0.9 2T	0.63	520	36	18655.00	8518690	99.48%		1702.63	30540.96	0.31	(
13	CUÑ. 15 0.6 0.9 2T	0.68	600	24	14220.00	8532910	99.65%	C	2250.18	26664.58	0.27	(
14	CIL. 60 0.9 1.2 2T	0.74	204	39	7956.00	8540866	99.74%		1022.82	19944.92	0.20	(
15	CUÑ.35 0.9 FRH	0.79	250	31	7750.00	8548616	99.83%		1270.00	19685.02	0.20	(
16	CIL. 55 0.9 1.2 2T	0.84	152	41	6232.00	8554848	99.90%		861.08	17652.20	0.18	(
17	CUÑ.11 0.9 FRH	0.89	200	20	3900.00	8558748	99.95%		1432.23	13964.24	0.14	(
18	CUÑ. 21 0.9 2T	0.95	100	30	3000.00	8561748	99.98%		816.50	12247.45	0.12	(
19	CUÑ. 30 0.6 0.9 2T	1.00	60	24	1440.00	8563188	100.00%		707.11	8485.28	0.08	(
										1738027.2	17.4	

El resultado de las iteraciones se muestra en el siguiente cuadro:

N	TCS	A/r
5496.12452	5496.12452	1
2457.94161	12289.708	5
1738.02718	17380.2718	10
1099.2249	27480.6226	25
777.269383	38863.4692	50
634.637794	47597.8345	75
549.612452	54961.2452	100
491.588321	61448.5402	125
482.042008	62665.4611	130
448.756688	67313.5031	150
415.467961	72706.8932	175
388.634692	77726.9383	200
245.794161	122897.08	500
173.802718	173802.718	1000
77.7269383	388634.692	5000
54.9612452	549612.452	10000
49.1588321	614485.402	12500
44.8756688	673135.031	15000
34.7605436	869013.589	25000
24.5794161	1228970.8	50000
17.3802718	1738027.18	100000

En base a lo obtenido se elabora la curva de intercambio, además en la gráfica se muestra el punto de política actual:



Límites financieros y operacionales.

Los límites financieros y operacionales establecidos por la empresa son los siguientes:

Límite Financiero = 100 000 dólares al año.

Límite Operacional = 4000 pedidos al año.

Punto de operación ideal.

Para una buena gestión de inventarios es necesario ubicarse en la curva de intercambio, por lo tanto desde el punto actual es posible dirigirse en tres direcciones:

El resultado del movimiento da como resultado tres puntos:

- Manteniendo constante la cantidad de pedidos al año (N) y disminuyendo el valor de TCS hasta llegar a la curva de intercambio obtenemos el punto B.

PUNTO B
Considerando TCS × N = 3.02 E+7
Con TCS = 30574.3
Entonces
N = 988
Por lo tanto el punto B es (988,30574.3)

- Manteniendo constante el valor de TCS y disminuyendo la cantidad de pedidos al año (N) hasta llegar a la curva de intercambio obtenemos el punto C.

PUNTO C
Considerando TCS × N = 3.02 E+7
Con N = 366.9
Entonces
TCS = 82338.3
Por lo tanto el punto C es (366.9, 82338.3)

- Disminuyendo el valor de TCS y la cantidad de pedidos al año (N) sobre la recta A/r hasta llegar a la curva de intercambio obtenemos el punto A.

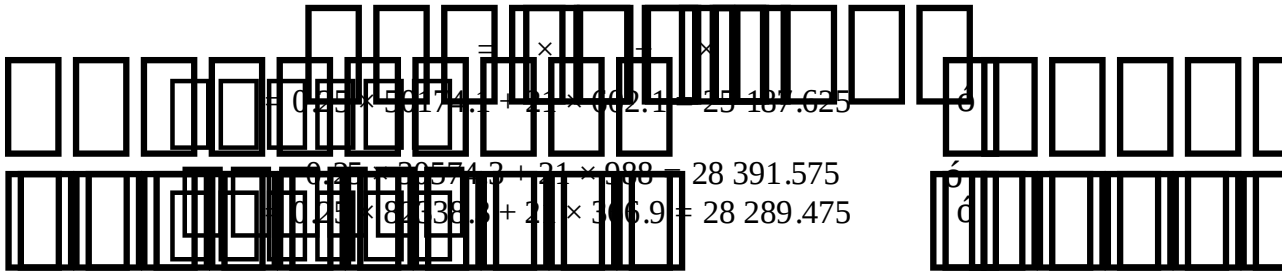
PUNTO A
Intersección entre recta A/R y Curva de intercambio
Por lo tanto el punto A es (602.1,50174.1)

Para la elección del punto óptimo se considerará el costo total de cada punto, para ello se definió el valor de r (tasa de posesión de inventario) = 25% anual, el cual se obtiene como la suma de:
Costo de capital = 15%.
Seguros = 2%.
Costo de almacenaje (como porcentaje del inventario promedio)= 5%.
Mermas, perdidas = 3%.

Además del costo de pedir (A)= 21 dólares, lo cual verifica el punto actual y la relación:

$$\frac{A}{r} = \frac{82338.3}{988} = \frac{21}{0.25} = 83.3$$

Con los datos se procede a calcular el Costo Total mediante la siguiente fórmula:



Por lo tanto el punto óptimo es el Punto " A"por presentar menor costo total.

Otros criterios de clasificación.

En los párrafos anteriores se mostró la clasificación ABC; sin embargo se ha decidido realizar una nueva clasificación, esta vez con respecto a los clientes dado que existen clientes que realizan mayores pedidos que otros, por ende es preciso realizar la fidelización de esta clientela a través de diversas políticas.

Como muchos productos son pedidos por distintos clientes, se consideró necesario clasificarlo por cliente, dada la demanda fluctuante de la mayoría de clientes de la empresa, es imposible lograr que todos cambien y homogenicen su política para todos los ítems, sin embargo se ha considerado lo siguiente:

Se ordenará a los clientes por demanda anual, ordenándose de mayor a menor y clasificándolos para asignar una nueva política, la cual se detalla a continuación:

A: manejar los stocks basados en función al contrato establecido con el cliente, en caso éste sea a largo plazo y de suma considerable.
B: incentivar al cliente a aumentar la frecuencia y cantidad de sus pedidos.
C: motivar a fidelizar su compra.

Número	Cliente	Items Acum. (%)	Demanda Anual (miles und)	Costo Promedio ($/und)	Valor de Uso DxC	Valor de Uso Acum. ($)	Valor de Uso (%)	Clasificación ABC
1	ALICORP (PIURA)	0.02	55062.00	34.90	1921664	1921664	22.66%	
2	CORP.JOSE R.LINDLEY	0.03	16600.00	31.50	522900	2444564	28.83%	
3	ETROANDINA COMERCIO Y SUMINISTR	0.05	20300.00	24.50	497350	2941914	34.70%	A
4	COLPEX INTERNATIONAL	0.06	13870.00	35.00	485450	3427364	40.42%	
5	PACIFIC TRADING ORGANIZATION	0.08	12520.00	35.00	438200	3865564	45.59%	
6	CHEM TOOLS	0.10	17328.00	24.00	415872	4281436	50.50%	
7	CPPQ	0.11	10500.00	33.00	346500	4627936	54.58%	
8	CILIPER	0.13	13678.00	23.00	314594	4942530	58.29%	
9	QUICORNAC	0.15	7482.00	32.00	239424	5181954	61.12%	
10	BASF PERUANA	0.16	6658.00	32.00	213056	5395010	63.63%	B
11	AGROINDUSTRIAS AIB	0.18	6000.00	33.00	198000	5593010	65.97%	
12	ALICORP(LIMA)azul	0.19	5402.00	33.90	183128	5776138	68.12%	
13	LAMINADOS	0.21	4780.00	35.7	170646	5946784	70.14%	
14	AGROMAR INDUSTRIAL	0.23	5196.00	32	166272	6113056	72.10%	
15	NCH PERU	0.24	7010.00	23.70	166137	6279193	74.06%	
16	EMULSIONES Y DERIVADOS DEL PERU	0.26	5170.00	29.1	150447	6429640	75.83%	
17	ISOPETROL LUBRICANTS (CAM2)	0.27	4600.00	32	147200	6576840	77.57%	
18	CITRICOS PERUANOS	0.29	2398.00	61	146278	6723118	79.29%	
19	QUIMICA SUIZA	0.31	3484.00	39	135876	6858994	80.90%	
20	GERSON VILLA AYBAR	0.32	4538.00	25	113450	6972444	82.23%	
21	MOBIL MOBIL	0.34	3200.00	35	112000	7084444	83.56%	
22	INCA OIL	0.35	2860.00	38	108680	7193124	84.84%	
23	CANDELA PERU	0.37	2814.00	37.6	105806	7298930	86.09%	
24	SOLUCIONES QUIMICAS DEL PERU	0.39	2418.00	41	99138	7398068	87.25%	
25	MOLY-COP ADESUR	0.40	2060.00	34	70040	7468108	88.08%	
26	COMPAÑÍA QUIMICA	0.42	2052.00	33.5	68742	7536850	88.89%	
27	PERUQUIMICOS	0.44	1950.00	34.5	67275	7604125	89.68%	
28	ISOPETROL LUBRICANTS(PECSA)	0.45	2100.00	32	67200	7671325	90.48%	
29	NEDERLAND PERU	0.47	1546.00	42.33	65442	7736767	91.25%	
30	BASF CONSTRUCCION CHEMIALS PERU	0.48	1502.00	41.67	62588	7799356	91.99%	
31	PROCESADORA FRUTICOLA	0.50	808.00	64	51712	7851068	92.60%	
32	TINTAS GRAFICAS VENCEDOR	0.52	1440.00	34.5	49680	7900748	93.18%	
33	COMERCIAL DINA E HIJOS	0.53	420.00	116.67	49001	7949749	93.76%	
34	NOVA INDUSTRA TOOLS SAC	0.55	2000.00	23	46000	7995749	94.30%	
35	EMULSIONES Y DERIVADOS	0.56	1400.00	29.1	40740	8036489	94.78%	
36	FARMEX	0.58	4200.00	9.3	39060	8075549	95.24%	
37	SIEMENS S.A.C.	0.60	1000.00	38	38000	8113549	95.69%	
38	IMBAREX	0.61	724.00	40	28960	8142509	96.03%	
39	COMERCIALIZADORA NISELPAC	0.63	3000.00	8.83	26490	8168999	96.35%	C
40	CASSADO	0.65	3484.00	7	24388	8193387	96.63%	
41	FARMEX SA	0.66	2600.00	9.3	24180	8217567	96.92%	
42	GLOBENATURAL INTERNACIONAL	0.68	580.00	39.6	22968	8240535	97.19%	
43	ISOPETROL LUBRICANTS(CAM 2)	0.69	680.00	33	22440	8262975	97.46%	
44	FRUTOS TONGORRAPE	0.71	600.00	34	20400	8283375	97.70%	
45	ABB S.A.	0.73	498.00	38.83	19337	8302712	97.92%	
46	ISOPETROL LUBRICANTS (MAXXOIL)	0.74	800.00	24	19200	8321912	98.15%	
47	MOBIL (PETROLUBE)	0.76	500.00	35	17500	8339412	98.36%	
48	ISOPETROL LUBRICANTS (GULF)	0.77	500.00	32	16000	8355412	98.55%	
49	REACTIVOS NACIONALES SA	0.79	414.00	38.33	15869	8371281	98.73%	
50	INVERS.Y REPRES.GENERALES YALICO	0.81	1630.00	9.38	15289	8386570	98.91%	
51	PROQUINSA	0.82	1070.00	13.67	14627	8401197	99.09%	
52	NEO DETER DEL PERU	0.84	2060.00	7	14420	8415617	99.26%	
53	ORPORACION PERUANA DE PRODUCTO	0.85	1800.00	6.8	12240	8427857	99.40%	
54	E.SALAS INGENIEROS	0.87	1184.00	8	9472	8437329	99.51%	
55	NOVA INDUSTRIAL TOOLS	0.89	4460.00	2	8920	8446249	99.62%	
56	CORPORACION MARA	0.90	1000.00	7.67	7670	8453919	99.71%	
57	PINTURAS INTERNATIONAL PERU SA	0.92	700.00	7.33	5131	8459050	99.77%	
58	HENRY FRANKLIN CHAPOÑAN LORZA	0.94	710.00	7	4970	8464020	99.83%	
59	CHEM CORP	0.95	612.00	7	4284	8468304	99.88%	
60	CHEMIE	0.97	600.00	7	4200	8472504	99.93%	
61	DVANCED MOLECULAR FORMULAS PER	0.98	484.00	7.33	3548	8476052	99.97%	
62	LIDERTEC	1.00	414.00	6.5	2691	8478743	100.00%	

Para tal efecto, en el siguiente acápite se mostrará el nuevo cálculo y cómo esta nueva política mejorará los cálculos e ingresos.

Recalcular el punto propuesto en el gráfico de TCS x N en función a la nueva clasificación y verificar que este dentro de límites operacional y financiero.

Para lograr recalcular, primero se ha colocado en una base de datos la información necesaria por cada cliente (demanda anual, costos, etc.), en base a ello se ha determinado que si A/r = 1 genera N y TCS = 12 802.5, formándose así una nueva curva A/R.

La curva sería: N*TCS =163904422

Para determinar la ecuación de la recta, se utilizaron los datos iníciales de la política actual, lo cual se puede ver en la tabla de la siguiente hoja, lo cual implica el uso de N= 3 224 y TCS=81 526, generándose así la siguiente ecuación:

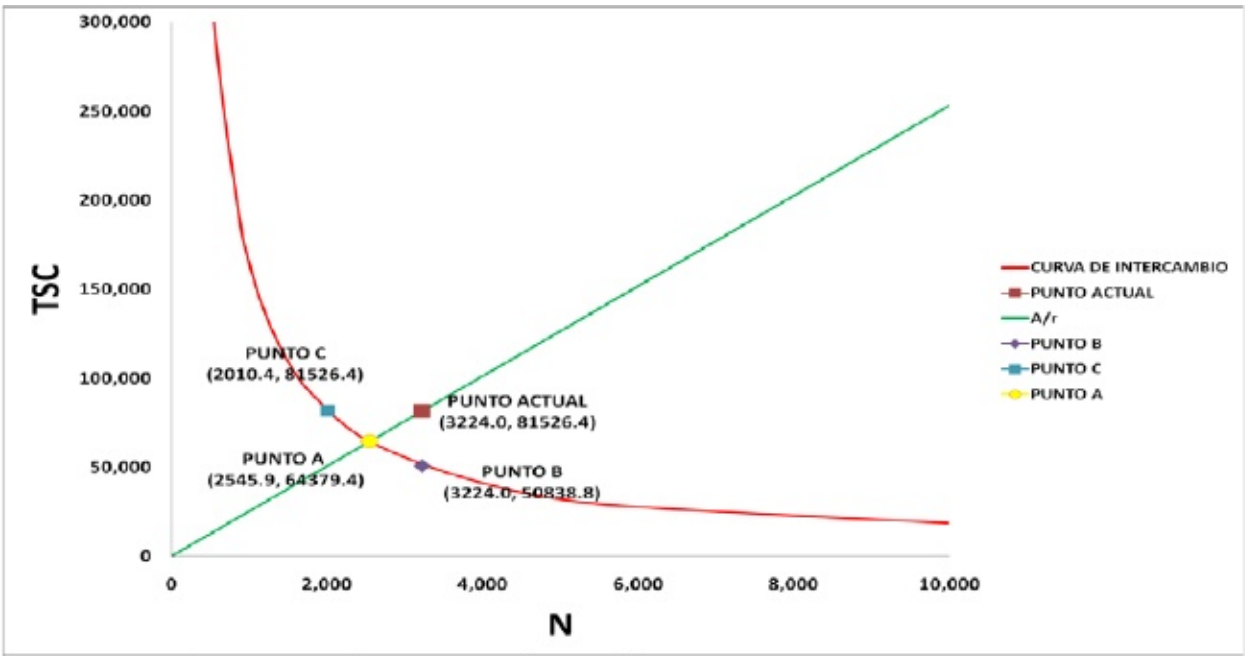
TCS= 25.28*N

De esta manera se obtuvieron los siguientes puntos:

N	TCS	A/r
12802.5163	12802.5163	1
5725.45933	28627.2966	5
4048.51111	40485.1111	10
2560.50325	64012.5813	25
1810.54921	90527.4606	50
1478.30724	110873.043	75
1280.25163	128025.163	100
1145.09187	143136.483	125
1122.85495	145971.144	130
1045.32108	156798.161	150
967.779262	169361.371	175
905.274606	181054.921	200
572.545933	286272.966	500
404.851111	404851.111	1000
181.054921	905274.606	5000
128.025163	1280251.63	10000
114.509187	1431364.83	12500
104.532108	1567981.61	15000
80.9702223	2024255.56	25000
57.2545933	2862729.66	50000
40.4851111	4048511.11	100000

Número	Cliente	Demanda Anual (miles und)	Costo Promedio ($/und)	Política Actual	Política Actual (Lote)	Stock de Ciclo (actual)	Número de Pedidos Actual
1	ALICORP (PIURA)	55062.00	34.90	52.00	1058.88	18477.54	52.00
2	CORP.JOSE R.LINDLEY	16600.00	31.50	52.00	319.23	5027.88	52.00
3	PETROANDINA COMERCIO Y SUMINISTRO	20300.00	24.50	52.00	390.38	4782.21	52.00
4	COLPEX INTERNATIONAL	13870.00	35.00	52.00	266.73	4667.79	52.00
5	PACIFIC TRADING ORGANIZATION	12520.00	35.00	52.00	240.77	4213.46	52.00
6	CHEM TOOLS	17328.00	24.00	52.00	333.23	3998.77	52.00
7	CPPQ	10500.00	33.00	52.00	201.92	3331.73	52.00
8	CILIPER	13678.00	23.00	52.00	263.04	3024.94	52.00
9	QUICORNAC	7482.00	32.00	52.00	143.88	2302.15	52.00
10	BASF PERUANA	6658.00	32.00	52.00	128.04	2048.62	52.00
11	AGROINDUSTRIAS AIB	6000.00	33.00	52.00	115.38	1903.85	52.00
12	ALICORP(LIMA)azul	5402.00	33.90	52.00	103.88	1760.84	52.00
13	LAMINADOS	4780.00	35.7	52.00	91.92	1640.83	52.00
14	AGROMAR INDUSTRIAL	5196.00	32	52.00	99.92	1598.77	52.00
15	NCH PERU	7010.00	23.70	52.00	134.81	1597.47	52.00
16	EMULSIONES Y DERIVADOS DEL PERU	5170.00	29.1	52.00	99.42	1446.61	52.00
17	ISOPETROL LUBRICANTS (CAM2)	4600.00	32	52.00	88.46	1415.38	52.00
18	CITRICOS PERUANOS	2398.00	61	52.00	46.12	1406.52	52.00
19	QUIMICA SUIZA	3484.00	39	52.00	67.00	1306.50	52.00
20	GERSON VILLA AYBAR	4538.00	25	52.00	87.27	1090.87	52.00
21	MOBIL MOBIL	3200.00	35	52.00	61.54	1076.92	52.00
22	INCA OIL	2860.00	38	52.00	55.00	1045.00	52.00
23	CANDELA PERU	2814.00	37.6	52.00	54.12	1017.37	52.00
24	SOLUCIONES QUIMICAS DEL PERU	2418.00	41	52.00	46.50	953.25	52.00
25	MOLY-COP ADESUR	2060.00	34	52.00	39.62	673.46	52.00
26	COMPAÑÍA QUIMICA	2052.00	33.5	52.00	39.46	660.98	52.00
27	PERUQUIMICOS	1950.00	34.5	52.00	37.50	646.88	52.00
28	ISOPETROL LUBRICANTS(PECSA)	2100.00	32	52.00	40.38	646.15	52.00
29	NEDERLAND PERU	1546.00	42.33	52.00	29.73	629.25	52.00
30	BASF CONSTRUCCION CHEMIALS PERU	1502.00	41.67	52.00	28.88	601.81	52.00
31	PROCESADORA FRUTICOLA	808.00	64	52.00	15.54	497.23	52.00
32	TINTAS GRAFICAS VENCEDOR	1440.00	34.5	52.00	27.69	477.69	52.00
33	COMERCIAL DINA E HIJOS	420.00	116.67	52.00	8.08	471.17	52.00
34	NOVA INDUSTRA TOOLS SAC	2000.00	23	52.00	38.46	442.31	52.00
35	EMULSIONES Y DERIVADOS	1400.00	29.1	52.00	26.92	391.73	52.00
36	FARMEX	4200.00	9.3	52.00	80.77	375.58	52.00
37	SIEMENS S.A.C.	1000.00	38	52.00	19.23	365.38	52.00
38	IMBAREX	724.00	40	52.00	13.92	278.46	52.00
39	COMERCIALIZADORA NISELPAC	3000.00	8.83	52.00	57.69	254.71	52.00
40	CASSADO	3484.00	7	52.00	67.00	234.50	52.00
41	FARMEX SA	2600.00	9.3	52.00	50.00	232.50	52.00
42	GLOBENATURAL INTERNACIONAL	580.00	39.6	52.00	11.15	220.85	52.00
43	ISOPETROL LUBRICANTS(CAM 2)	680.00	33	52.00	13.08	215.77	52.00
44	FRUTOS TONGORRAPE	600.00	34	52.00	11.54	196.15	52.00
45	ABB S.A.	498.00	38.83	52.00	9.58	185.94	52.00
46	ISOPETROL LUBRICANTS (MAXXOIL)	800.00	24	52.00	15.38	184.62	52.00
47	MOBIL (PETROLUBE)	500.00	35	52.00	9.62	168.27	52.00
48	ISOPETROL LUBRICANTS (GULF)	500.00	32	52.00	9.62	153.85	52.00
49	REACTIVOS NACIONALES SA	414.00	38.33	52.00	7.96	152.58	52.00
50	INVERS.Y REPRES.GENERALES YALICO	1630.00	9.38	52.00	31.35	147.01	52.00
51	PROQUINSA	1070.00	13.67	52.00	20.58	140.64	52.00
52	NEO DETER DEL PERU	2060.00	7	52.00	39.62	138.65	52.00
53	CORPORACION PERUANA DE PRODUCTOS	1800.00	6.8	52.00	34.62	117.69	52.00
54	E.SALAS INGENIEROS	1184.00	8	52.00	22.77	91.08	52.00
55	NOVA INDUSTRIAL TOOLS	4460.00	2	52.00	85.77	85.77	52.00
56	CORPORACION MARA	1000.00	7.67	52.00	19.23	73.75	52.00
57	PINTURAS INTERNATIONAL PERU SA	700.00	7.33	52.00	13.46	49.34	52.00
58	HENRY FRANKLIN CHAPOÑAN LORZA	710.00	7	52.00	13.65	47.79	52.00
59	CHEM CORP	612.00	7	52.00	11.77	41.19	52.00
60	CHEMIE	600.00	7	52.00	11.54	40.38	52.00
61	ADVANCED MOLECULAR FORMULAS PERU	484.00	7.33	52.00	9.31	34.11	52.00
62	LIDERTEC	414.00	6.5	52.00	7.96	25.88	52.00
						81526.37	3224.00

Los cuales se pueden apreciar en la siguiente gráfica representativa:



Buscando reducir costos, se ha evaluado los puntos analizados se generan tres posibles valores:

Punto	N	TCS
A	2545	64379
B	3224	50839
C	2010	81526

Analizando los N de cada posibilidad es preferible el que pide menor cantidad de pedidos al año (Punto C), ya que individualmente equivaldría a pedir 32.41 al año, mucho menor a las 52 oportunidades anuales.

Según la política anteriormente definida, se procede plantear la política correspondiente:

CLIENTES TIPO A:un cliente del tipo A es Alicorp, debido a que el genera la mayor cantidad de ventas para la empresa, por esto, de debe tener alto cuidado en cumplir con los plazos y la entrega de un buen producto. Los criterios a tomar en cuenta se basan en:

- Stock de seguridad: para este tipo de producto, se aplicará un porcentaje de stock de seguridad tomando como base una demanda media de 91323 miles

de unidades, con una deviación estándar de 16000 miles de unidades, y z= 1.65. Tomando en cuenta que nuestra demanda es variable, se tendrá un stock de seguridad de 26400 unidades y un pedido de 33570.

= 1.65 16000 = 26400

= 23670 + 9900 = 33570

- Lead time: se tomará el tenido actualmente con el proveedor, de 1 día.
- Sistema de reabastecimiento: El proveedor que se tiene, trae los pedidos luego de un día realizado los pedidos y los pedidos son abastecidos en forma constante y de fácil de manipulación.

Tabla Clientes tipo A

Cliente
ALICORP (PIURA)
CORP.JOSE R.LINDLEY
PETROANDINA COMERCIO Y SUMINISTRO
COLPEX INTERNATIONAL
PACIFIC TRADING ORGANIZATION

CLIENTES TIPO B:un cliente tipo B, es un cliente que compra cada periodo y tiene un cantidad media a pedir, es decir, son menores a las generadas por el cliente tipo, pero mayores a las del tipo C y con mayor frecuencia.

- Stock de seguridad: para este tipo de producto, se aplicará un porcentaje de stock de seguridad tomando como base una demanda media de 8400 miles de unidades, con una deviación estándar de 4162 miles de unidades, y z= 1.65. Tomando en cuenta que nuestra demanda es variable, se tendrá un stock de seguridad de 9900 unidades y un pedido de 21185.

= 1.65 4162 = 6867

= 8400 + 6867 = 21185

- Lead time: se tomará el tenido actualmente con el proveedor, de 1 día.
- Sistema de reabastecimiento: el proveedor que se tiene, trae los pedidos luego de un día realizado los pedidos y los pedidos son abastecidos en forma constante y de fácil de manipulación.

Tabla Clientes tipo B

Cliente
CHEMITOOLS
CPPQ
CILIPER
QUICORNAC
BASF PERUANA
AGROINDUSTRIAS AIB
ALICORP(LIMA)azul
LAMINADOS
AGROMAR INDUSTRIAL
NICH PERU

CLIENTES TIPO C:son clientes que piden esporádicamente y tiene una pequeña aportación a las ventas de la empresa.

- Stock de seguridad: para este tipo de producto, se aplicará un porcentaje de stock de seguridad tomando como base una demanda media de 1809 miles de unidades, con una deviación estándar de 420 miles de unidades, y z= 1.65. Tomando en cuenta que nuestra demanda es variable, se tendrá un stock de seguridad de 693 unidades y un pedido de 2502 miles de unidades.

= 1.65 420 = 693

= 1809 + 693 = 2502

- Lead time: se tomará el tenido actualmente con el proveedor, de 1 día.
- Sistema de reabastecimiento: el proveedor que se tiene, trae los pedidos luego de un día realizado los pedidos y los pedidos son abastecidos en forma constante y de fácil de manipulación.

.

Tabla Clientes tipo C

Cliente		
EMULSIONES Y DERIVADOS DEL PERÚ	TINTAS GRÁFICAS VENCEDOR	ISOPETROL LUBRICANTES (GULF)
ISOPETROL LUBRICANTES	COMERCIAL DINA E HIJOS	REACTIVOS NACIONALES S.A.
CÍTRICOS PERUANOS	NOVA INDUSTRIA TOOLS SAC	INVERS. Y REPRES. GENERALES YALICO
QUÍMICA SUIZA	EMULSIONES Y DERIVADOS	PROQUINSA
GERSON VILLA AYBAR	FARMEX	NEO DETER DEL PERÚ
MÓBIL	SIEMENS S.A.C.	CORPORACIÓN PERUANA DE PRODUCTOS
INCA OIL	IMBAREZ	E. SALA INGENIEROS
CANDELA PERÚ	COMERCIALIZADORA NISELPAC	NOVA INDUSTRIAL TOOLS
SOLUCIONES QUÍMICAS DEL PERÚ	CASSADO	CORPORACIÓN MARA
MOLY COP ADESUR	FARMEX S.A.	PINTURAS INTERNATIONAL PERÚ S.A.
COMPAÑÍA QUÍMICAS	GLOBENATURAL INTERNACIONAL	HENRY FRANKLIN CHAPOÑAN LORZA
PERUQUÍMICOS	ISOPETROL LUBRICANTES (CAM2)	CHEM CORP.
ISOPETROL LUBRICANTES (PECSA)	FRUTOS TONGORRAPE	CHEMIE
NEDERLAND PERÚ	ABB S.A.	ADVANCED MOLECULAR FÓRMULAS PERÚ
BASF CONSTRUCCIÓN CHEMIALS PERÚ	ISOPETROL LUBRICANTES (MAXXOIL)	LIDERTEC
PROCESADORA FRUTÍCOLA	MÓBIL (PETROLUBE)	

Establecer beneficios de la propuesta.
Se tienen beneficios que son medidos por:

- Rotación del producto.
- Costo Total.
- Stock de seguridad.

Al establecerse una clasificación por productos reduce el número de pedidos de 988 por año (52 pedidos por producto) a 602.1 pedidos. Esto tal como se analizó en la parte de costeo nos trae una reducción en el costo de pedido y en el costo de mantenimiento, lo cual por consiguiente trae una reducción en el costo total.

= 0.25 × 50174.1 + 21 × 602.1 = 25 187.625 ó

= 0.25 × 82338.3 + 21 × 988 = 41332.58 ó

Al establecerse la clasificación por Cliente también no se reduce el número de pedidos, sino que éstos aumentan pero esto conlleva a que haya una rotación de inventarios diferente. Tomando el menor de los N hallados en los puntos anteriores correspondientes a la clasificación por cliente se tienen los siguientes costos. Para este punto hay que tener en cuenta que se establece un nuevo costo actual dado que se toman precios promedios para los pedidos en general respecto a cliente. Es por esto que se crea una variación con respecto a lo hallado en el los TSC actuales en producto (82338.3) y clientes (81526.4). Cabe resaltar que estas

modificaciones mantienen las proporciones del caso, manteniéndose los mismos índices presentados en el punto 3 en ambas.

= 0.25 × 81526.4 + 21 × 2010 = 62521.5 ó

= 0.25 × 81526.4 + 21 × 3224 = 88085.50 ó

En ambos casos vemos una variación significativa en el nivel de costos, lo cual nos indica que adoptar estas nuevas clasificaciones tendría un impacto económico significativo para la empresa.

En la tabla siguiente se aprecia la variación que se tiene en la rotación de Inventario y las semanas de Abastecimiento conforme se cambia de punto. Vemos que la rotación por producto en el punto óptimo aumenta a 170.67 veces por año, mientras que la rotación por cliente óptimo se mantiene igual que su predecesor. En cuanto a las semanas de abastecimiento también se observa cambios en la clasificación por producto, que disminuye a 0.3 semanas.

	Por Producto Actual	Por Cliente Actual (modificado)	Por Producto Optimo	Por Cliente Optimo (modificado)
Valor Inventario Agregado Promedio	82338.35	81526.37	50174.10	81526.40
Venta Anual	8563188.02	8478742.90	8563188.02	8478742.90
Rotación de Inventario	104.00	104.00	170.67	104.00
Ventas Semanales	164676.69	163052.75	164676.69	163052.75
Semanas de Abastecimiento	0.50	0.50	0.30	0.50

CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN LINEAL

3.1. GENERALIDADES EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES.

La investigación de operaciones: trata el estudio y despliegue de métodos científicos para usar eficazmente los recursos. Tales métodos comprenden modelos matemáticos – y estadísticos – y diversos algoritmos que sirven para tomar decisiones en problemas relacionados con la planificación, coordinación y ejecución de operaciones en las organizaciones.

3.2. OPTIMIZACIÓN, MODELO, SISTEMA.

Un sistema es una organización de componentes interdependientes que trabajan juntos para lograr un objetivo del sistema.

Los modelos de optimización "dictan" el comportamiento para una organización que le permitirá alcanzar mejor sus metas.
Los componentes de este modelo son:

- Función objetivo.
- Variables de decisión.
- Restricciones.

Un modelo de optimización: busca encontrar valores de las variables de decisión que optimicen (maximicen o minimicen) una función objetivo entre el conjunto de todos los valores para las variables de decisión que satisfacen las restricciones dadas.

3.3. PROGRAMACIÓN LINEAL, DEFINICIÓN, FORMULACIÓN.

La Programación lineal es una técnica de optimización que consiste en la maximización o minimización de una función lineal llamada Función Objetivo, sujeta a restricciones también lineales.

3. Aditividad.
   - El total de todas las actividades es igual a la suma de las actividades individuales.

4. Divisibilidad.
   - Las soluciones no necesitan ser números enteros.
   - Las soluciones son divisibles y pueden tomar cualquier valor fraccionario.

5. No negatividad.
   - Todas las respuestas o variables son no negativas (≥ 0).
   - Los valores negativos de cantidades físicas son imposibles.

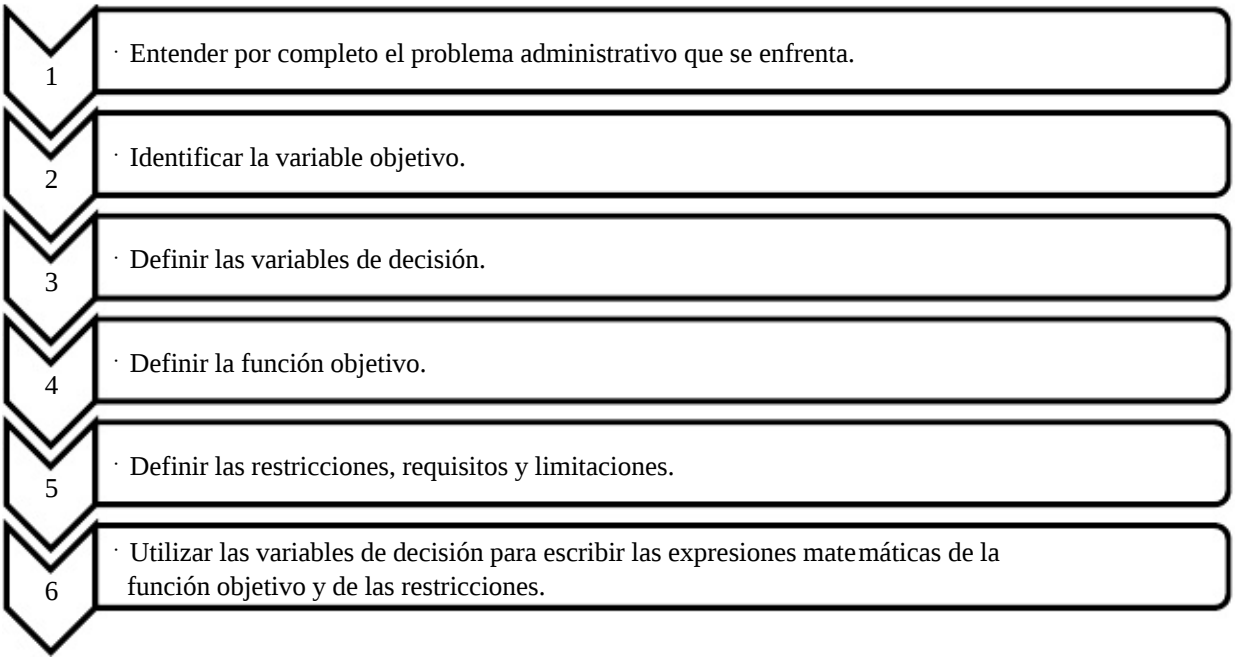
3.4. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE P.L.

A partir de la definición o enunciado del problema, los pasos que usualmente se aplican para la formulación o propuesta del modelo son los siguientes:

1. Se identifican la cantidad o variable de salida que se desea optimizar y las variables de decisión o de entrada X_1, X_2,……, X_n de las que depende y se expresa la primera como una función matemática de las ultimas.
2. Se determina las condiciones, requisitos y limitaciones y se expresan mediante restricciones matemáticas que se imponen a las variables de decisión.
3. Se incluyen condiciones adicionales que no aparecen de manera explícita pero que deben cumplirse en el problema real, por ejemplo, si algunas variables de decisión han de tomar valores mayores que o iguales a cero, o si deben tener valores enteros.

Una vez obtenido el modelo del programa matemático se procede a resolverlo aplicando los métodos y técnicas e optimización; esto es, hallar el valor óptimo, si existe y una solución óptima, o algunos valores en los cuales las variables de decisión proporcionan el valor óptimo.

En resumen los pasos a realizar son:


1
· Entender por completo el problema administrativo que se enfrenta.
2
· Identificar la variable objetivo.
3
· Definir las variables de decisión.
4
· Definir la función objetivo.
5
· Definir las restricciones, requisitos y limitaciones.
6
· Utilizar las variables de decisión para escribir las expresiones matemáticas de la función objetivo y de las restricciones.

Veamos el siguiente ejemplo:

Problema de la mezcla de productos- "Compañía de Muebles Royal".

La compañía de Muebles Royal se dedica a fabricar mesas y sillas para el mercado peruano, debido a los malos resultados en los últimos meses decidió realizar un análisis del proceso productivo, como parte del análisis la empresa desea saber cuáles la combinación de mesas y sillas a producir que le permitan obtener una mayor utilidad teniendo en cuenta las horas requeridas para producir una unidad de cada producto, las horas disponibles por los departamentos de carpintería y pintura y la utilidad por unidad de cada producto. La tabla siguiente muestra esta información:

Departamento	Mesas	Sillas	Horas disponibles esta semana
Carpintería.	4	3	240
Pintura y Barnizado.	2	1	100
Utilidad por unidad.	$7	$5	

Para dar solución al problema planteado se seguirá los pasos mencionados previamente:

1. Entender por completo el problema administrativo que se enfrenta.

El problema consiste en determinar la combinación óptima de mesas y sillas con el objetivo de obtener la mayor utilidad posible, para ello el problema brinda información de horas de producción de cada producto en cada departamento involucrado (carpintería, pintura y barnizado), así mismo se da la información de las horas disponibles de cada departamento en la semana.

2. Definir la variable objetivo.

En base a lo pedido por el problema, la variable objetivo sería "La Utilidad".

3. Definir las variables de decisión.

En base a los requerimientos de la compañía las variables de decisión serían:

X_1 = número de mesas que deben ser producidas y vendidas por semana.

X_2 = número de sillas que deben ser producidas y vendidas por semana.

4. Definir la función objetivo.

El objetivo de la compañía como se menciona es el de obtener la mayor utilidad posible, por ello se plantea:

Función Objetivo: Maximizar la utilidad.

5. Definir las restricciones, requisitos y limitaciones.

Las restricciones del problema son de las horas disponibles por semana en cada departamento, se denota de la siguiente manera:

Sujeta a:

1. Horas de carpintería utilizadas $\leq$ 240 horas por semana.
2. Horas de pintura y barnizado utilizadas $\leq$ 100 horas por semana.

6. Utilizar las variables de decisión para escribir las expresiones matemáticas de la función objetivo y de las restricciones.

Maximizar $Z = 7X_1 + 5X_2$

Sujeta a:

$4X_1 + 3X_2 \leq 240$ (Restricción de Carpintería).

$2X_1 + 1X_2 < 100$ (Restricción de Pintura y Barnizado).

Con $X_1 \geq 0$ (1^{ra} condición de no negatividad).

$X_2 \geq 0$ (2^{da} condición de no negatividad).

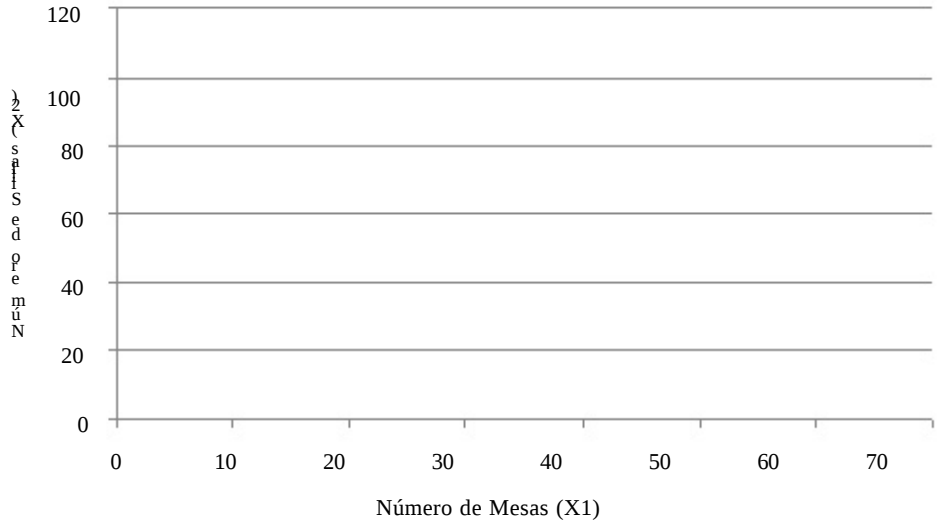
3.8. SOLUCIÓN POR MÉTODOS GRÁFICOS.

Solución por método gráfico.

La forma más fácil de resolver un pequeño problema de PL tal como el de "Compañía de Muebles Royal" es con el método gráfico, sin embargo cuando existen más de dos variables no es posible hallar la solución en una gráfica bidimensional y se debe recurrir a métodos más complejos.

El método gráfico funciona sólo cuando existen dos variables de decisión.

Las condiciones de no negatividad $X_1 \geq 0$ y $X_2 \geq 0$ significan que siempre se trabaja en el primer cuadrante.

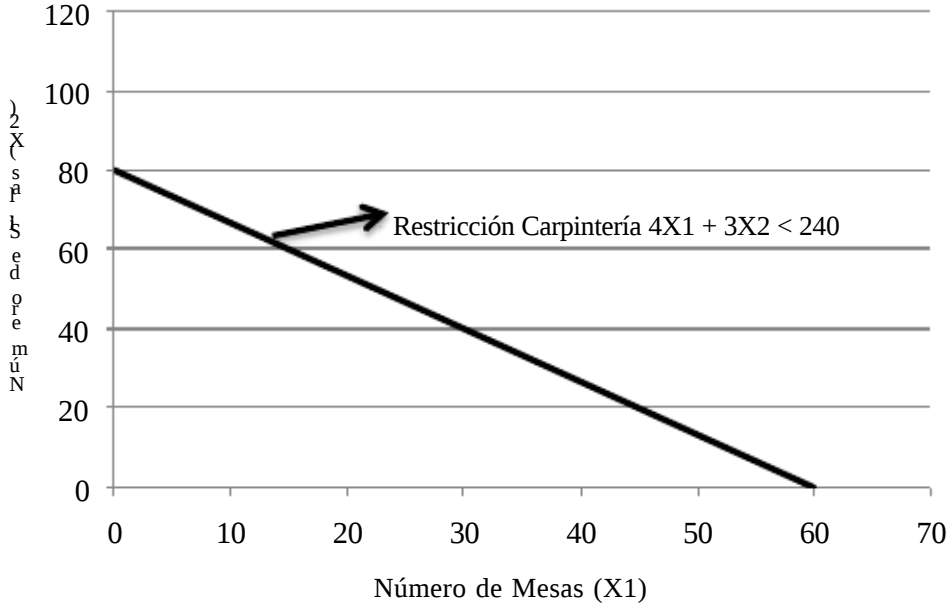


- La restricción de carpintería es $4X_1 + 3X_2 \leq 240$.

  Se grafica la restricción en forma de igualdad $4X_1 + 3X_2 = 240$.

  - Sea $X_1 = 0$ y resuelva para el punto donde la línea cruza el eje X_2.
    $4(0) + 3(X_2) = 240$
    $X_2 = 80$ sillas
  - Sea $X_2 = 0$ y resuelva para el punto donde la línea cruza el eje X_1.
    $4(X_1) + 3(0) = 240$
    $X_1 = 60$ mesas

  La restricción de carpintería: está limitada por la línea que va del punto ($X_1 = 0$, $X_2 = 80$) al punto ($X_1 = 60$, $X_2 = 0$).

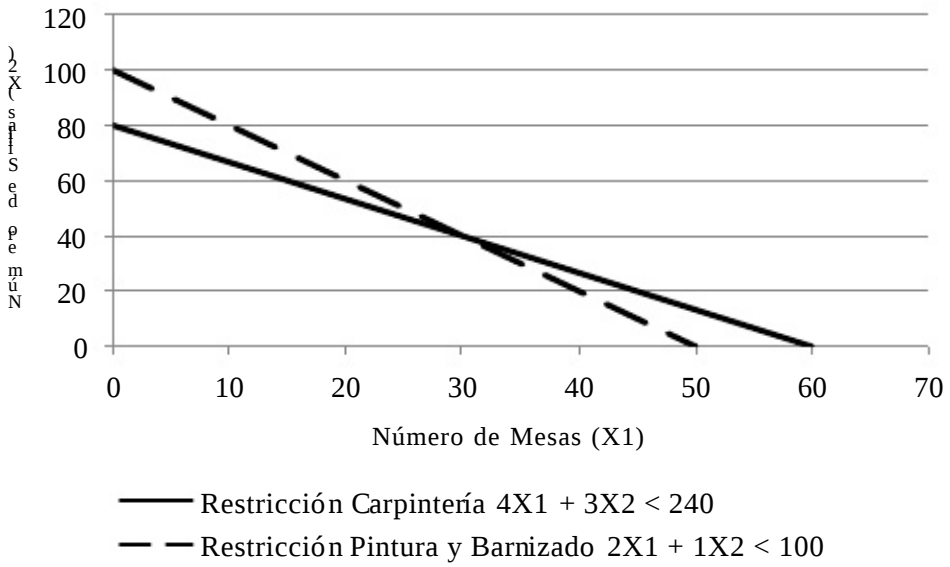


- La restricción de pintura y barnizado es $2X_1 + 1X_2 \leq 100$.

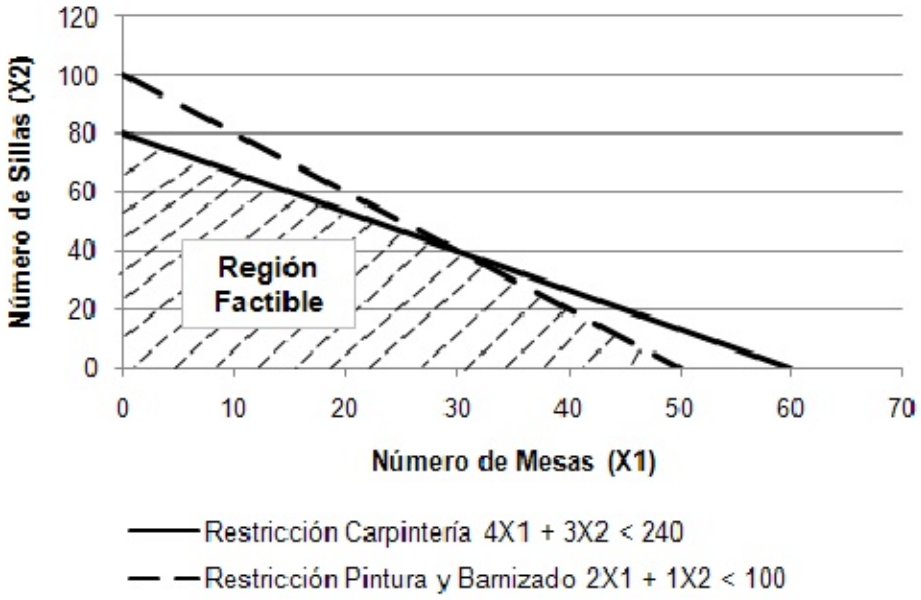
  Se grafica la restricción en forma de igualdad $2X_1 + 1X_2 = 100$.

  - Sea $X_1 = 0$ y resuelva para el punto donde la línea cruza el eje X_2.
    $2(0) + 1(X_2) = 100$.
    $X_2 = 100$ sillas.
  - Sea $X_2 = 0$ y resuelva para el punto donde la línea cruza el eje X_1.
    $2(X_1) + 1(0) = 100$.
    $X_1 = 50$ mesas.

  La restricción de Pintura y Barnizado está limitada por la línea que va del ($X_1 = 0$, $X_2 = 100$) al punto ($X_1 = 50$, $X_2 = 0$).



Representación Gráfica de la Región Factible.

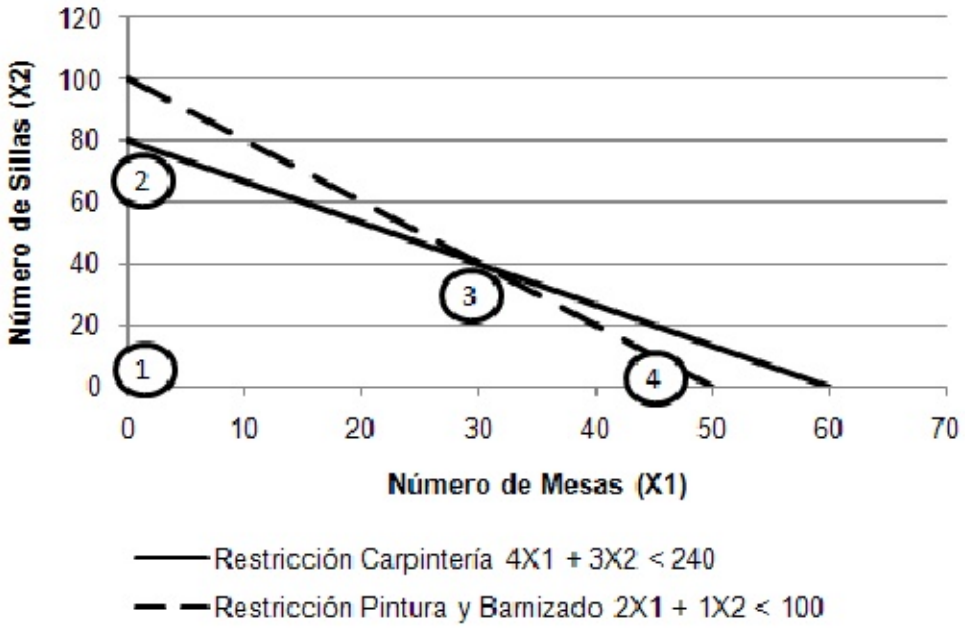


Método de Solución del Punto de Esquina.

1. Graficar todas las restricciones y encontrar la región factible.
2. Encontrar los puntos esquina de la región factible.
3. Calcular la utilidad (o el costo) en cada punto esquina de la región factible.
4. Seleccionar el punto esquina con el mejor valor de la función objetivo. Éste es la solución óptima.
   - La región factible para el problema anterior es un polígono de cuatro lados con cuatro puntos de esquina o puntos extremos.

- Estos puntos son los designados como 1, 2, 3, y 4. Ver gráfico.
- Para encontrar los valores (X_1, X_2) que producen la utilidad máxima, se localizan las coordenadas de cada punto en esquina y se comprueban sus niveles de utilidad.

Punto 1: ($X_1 = 0$, $X_2 = 0$)
Utilidad = 7(0) + 5(0) = 0
Punto 2: ($X_1 = 0$, $X_2 = 80$)
Utilidad = 7(0) + 5(80) = 400
Punto 3: ($X_1 = 30$, $X_2 = 40$)
Utilidad = 7(30) + 5(40) = 410
Punto 4: ($X_1 = 50$, $X_2 = 0$)
Utilidad = 7(50) + 5(0) = 350



3.9 SOLUCIÓN POR MÉTODO SIMPLEX.

El método simplex es un algoritmo muy práctico utilizado para la resolución de problemas de programación lineal. El algoritmo solo trabaja con los coeficientes de la función objetivo y de las restricciones.

Antes de poder utilizar el algoritmo simplex para resolver un problema de PL, éste se debe convertir en un problema donde todas las restricciones son ecuaciones y todas las variables son no negativas. Un problema de PL en esta forma está en forma estándar. Es decir:
Función objetivo.

Maximizar $Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \ldots\ldots + C_nX_n$
Restricciones.
$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \ldots + a_{1n}X_n = b_1$
$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \ldots + a_{2n}X_n = b_2$

$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \ldots + a_{mn}X_n = b_m$
Rango de existencia.
$X_j \geq 0,\ j = 1, 2, \ldots, n$

¿Cómo convertir una restricción en una ecuación?
Se sabe que existen tres tipos de restricciones: menor-igual, mayor-igual e igual. Para convertir una restricción del tipo menor-igual (≤) en una igualdad se adiciona una variable de holgura al primer miembro de la restricción.

Para convertir una restricción del tipo mayor-igual (≥) o igual (=) es necesario la sustracción de una variable de excedente en lugar de la adición de una variable de holgura. Además, se debe agregar una variable artificial a la restricción, las variables artificiales sólo son necesarias en restricciones ≥ y =.

Las variables de holgura, de excedente y las artificiales agregadas a una restricción deberán ser agregadas en las demás ecuaciones, y en la función objetivo del problema.

Las variables de holgura y las de excedente deben añadirse en la función objetivo con coeficiente igual a cero mientras que las variables artificiales deben añadirse con coeficientes de castigo. Como estas variables no son parte del modelo original, les asignamos una penalidad (número "M" muy grande) con signo negativo en la función objetivo, para obligarlas a que no aparezcan en la solución óptima.

En resumen.

Tipo de restricción	¿Qué hacer en la restricción?	¿Qué hacer en la función objetivo?
menor-igual (≤) .	+ Variable de Holgura.	+ 0* Variable de Holgura.
mayor-igual (≥) .	- Variable de Excedente. +Variable Artificial.	+ 0* Variable de Excedente. - M * Variable Artificial.
igual (=).	+ Variable Artificial.	- M * Variable Artificial.

Método simplex para problemas de maximización.

Explicaremos el método simplex mediante un ejemplo.

Maximizar $Z = 60 X_1 + 30 X_2 + 20 X_3$

Sujeto a:

$$8 X_1 + 6 X_2 + X_3 \leq 48$$
$$4 X_1 + 2 X_2 + 1.5 X_3 \leq 20$$
$$2 X_1 + 1.5 X_2 + 0.5 X_3 \leq 8$$
$$X_2 \leq 5$$

Con $X_1, X_2, X_3 \geq 0$

Forma estándar.

$Z = 60 X_1 + 30 X_2 + 20 X_3$

Sujeto a:

$$8 X_1 + 6 X_2 + X_3 + S_1 = 48$$
$$4 X_1 + 2 X_2 + 1.5 X_3 + S_2 = 20$$
$$2 X_1 + 1.5 X_2 + 0.5 X_3 + S_3 = 8$$
$$X_2 + S_4 = 5$$

Con $X_1, X_2, X_3, S_1, S_2, S_3, S_4 \geq 0$

PASO 0: usando la forma normal (estándar), determinar una solución básica factible.

Si $X_1 = 0, X_2 = 0, X_3 = 0$ (variables no básicas).

Entonces: $S^1 = 48, S^2 = 20, S^3 = 8, S^4 = 5$ (variables básicas).

Escribir la tabla inicial.

	C_i	60	30	20	0	0	0	0	Valor
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	S_3	S_4	b_i
0	S_1	8	6	1	1	0	0	0	48
0	S_2	4	2	1,5	0	1	0	0	20
0	S_3	2	1,5	0,5	0	0	1	0	8
0	S_4	0	1	0	0	0	0	1	5
	Z_i	0	0	0	0	0	0	0	0
	$Z_i - C_i$	-60	-30	-20	0	0	0	0	

PASO 1: seleccionar la variable entrante y la variable saliente.

VARIABLE ENTRANTE: La que proporciona el mayor incremento, es decir el valor de $Z_i - C_i$ más negativo, esa variable de la columna es la variable entrante.

En el ejemplo Z1 – C1 = -60 es el más negativo y por lo tanto X1 es la variable entrante.

VARIABLE SALIENTE: se toma como variable saliente el de la fila del menor cociente positivo entre b_i / X_i (X_i: columna de la variable entrante). $X_i > 0$. En el ejemplo:

Fila 1: 48/8 ≡ 6.
Fila 2: 20/4 = 5.
Fila 3: 8/2 = 4.
Fila 4: coeficiente cero, no tomar en cuenta.
Por lo tanto dado que el menor cociente es 4, S_3 es la variable saliente.

	C_i	60	30	20	0	0	0	0	Valor	
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	S_3	S_4	b_i	
0	S_1	8	6	1	1	0	0	0	48	48/8=6
0	S_2	4	2	1,5	0	1	0	0	20	20/4=5
0	S_3	2	1,5	0,5	0	0	1	0	8	8/2=4
0	S_4	0	1	0	0	0	0	1	5	
	Z_i	0	0	0	0	0	0	0	0	
	$Z_i - C_i$	-60	-30	-20	0	0	0	0		

PASO 2: se coloca la nueva variable básica y su respectivo coeficiente.
Si la intersección de la columna pívot y la fila pívot es diferente de 1, se divide a toda la fila por dicho coeficiente. En el ejemplo la Fila 3 (dividir entre 2).

Se hace ceros los otros coeficientes de la columna pívot, por medio de la eliminación gaussiana.

Fila (nueva) = Fila (anterior) – K * Fila (pívot)

K: coeficiente (fila anterior y columna pívot)

En el ejemplo:
Fila1 (nueva) = Fila1 (anterior) – 8 * Fila3.
Fila2 (nueva) = Fila2 (anterior) – 4 * Fila3.
Se calcula la nueva tabla:

	C_i	60	30	20	0	0	0	0	Valor
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	S_3	S_4	b_i
0	S_1	0	0	-1	1	0	-4	0	16
0	S_2	0	-1	0,5	0	1	-2	0	4
60	X_1	1	0,75	0,25	0	0	0,5	0	4
0	S_4	0	1	0	0	0	0	1	5
	Z_i	60	45	15	0	0	30	0	240
	$Z_i - C_i$	0	15	-5	0	0	30	0	

Se repite los pasos 1 y 2.

PASO 1: En el ejemplo Z3 – C3 = -5 es el más negativo y por lo tanto X3 es la variable entrante.

Fila 1: coeficiente = -1 (negativo), no tomar en cuenta.
Fila 2: 4/0.5 = 8.
Fila 3: 4/0.25 = 16.
Fila 4: coeficiente cero, no tomar en cuenta.
Por lo tanto dado que el menor cociente es 4, S_3 es la variable saliente
Con ello: Variable entrante X_3 y variable saliente S_2.

	C_i	60	30	20	0	0	0	0	Valor	
C_i	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	S_3	S_4	b_i	
0	S_1	0	0	-1	1	0	-4	0	16	
0	S_2	0	-1	0,5	0	1	-2	0	4	4/0,5=8
60	X_1	1	0,75	0,25	0	0	0,5	0	4	4/0,25=16
0	S_4	0	1	0	0	0	0	1	5	
	Z_i	60	45	15	0	0	30	0	240	
	$Z_i - C_i$	0	15	-5	0	0	30	0		

PASO 2: En el ejemplo Fila2 (multiplicar por 2, ya que la intersección es 0.5 y es necesario que sea igual a 1).
Fila1 (nueva) = Fila1 (anterior) + 1 * Fila2.
Fila3 (nueva) = Fila3 (anterior) -0.25 * Fila2.

	C_i	60	30	20	0	0	0	0	Valor
C_i	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	S_3	S_4	b_i
0	S_1	0	-2	0	1	2	-8	0	24
20	X_3	0	-2	1	0	2	-4	0	8
60	X_1	1	1,25	0	0	-0,5	1,5	0	2
0	S_4	0	1	0	0	0	0	1	5
	Z_i	60	35	20	0	10	10	0	280
	$Z_i - C_i$	0	5	0	0	10	10	0	

Criterio de optimalidad.

Cuando en los coeficientes de $Z^i - C^i$ ya no existen valores negativos
En el ejemplo:
Solución óptima
X1 = 2, X3 = 8, S1 = 24, S4 = 5 (variables básicas).
X2 = 0, S2 = 0, S3 = 0 (variables no básicas).
Valor Óptimo Z = 280.
3.10 PROBLEMAS RESUELTOS.

Problema 1.

La compañía DYNAMIX fabrica dos tipos de estantes para libros. Para fabricar estos estantes la empresa cuenta con dos trabajadores cada uno de ellos realiza un proceso diferente. El primer trabajador puede trabajar hasta 40 horas por semana y se le paga $5.00 por hora trabajada, mientras que el segundo trabajador puede trabajar hasta 50 horas por semana y se le paga $6.00 por hora trabajada. La información de los estantes es la siguiente:

	Trabajador 1 (hora)	Trabajador 2 (hora)	Costo de materia prima ($)	Precio de Venta ($)
Estante 1.	1	2	5.00	30.00
Estante 2.	2	1	5.00	35.00

a) Formular un modelo de PL y resuélvalo gráficamente.
b) Interpretar los resultados.
c) Suponga que el trabajador 1 puede trabajar 6 horas adicionales. ¿Cuál sería el nuevo plan de producción y en qué porcentaje varía la utilidad?
d) Considerando el modelo inicialmente formulado. Suponga que la relación entre la producción del estante tipo 2 y la producción del estante tipo 1 debe ser por lo menos 2. ¿Cuál sería el nuevo plan de producción y en qué porcentaje varía la utilidad?

Solución:

a) Formular un modelo de PL y resuélvalo gráficamente

- Variables de decisión.

X_1: número de estantes tipo 1 que se fabrican y venden en una semana

X_2: número de estantes tipo 2 que se fabrican y venden en una semana

- Cálculo de utilidad por estante.

Utilidad por estante 1 = (30 – 5*1 – 6*2 – 5) = 8

Utilidad por estante 2 = (35 – 5*2 – 6*1 – 5) = 14

- Por lo tanto el modelo de PL es.

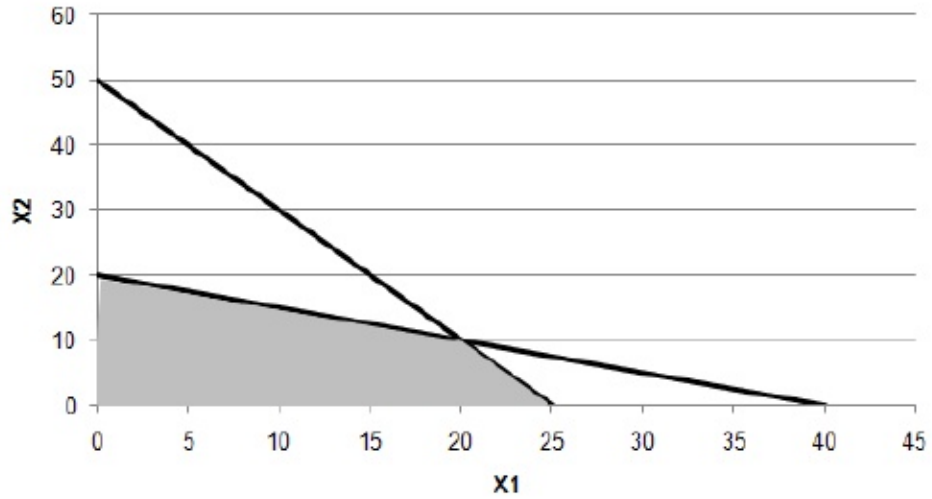
Maximizar $Z = 8 X_1 + 14 X_2$

Sujeto a:

$1 X_1 + 2 X_2 \leq 40$

$2 X_1 + 1 X_2 \leq 50$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



La solución óptima es $X_1 = 20$ y $X_2 = 10$.
El valor óptimo de la función objetivo es Z = 300.

b) Interpretar los resultados. Se fabrican y venderán 20 estantes tipo 1 y 10 estantes tipo 2, para obtener una utilidad de $300.

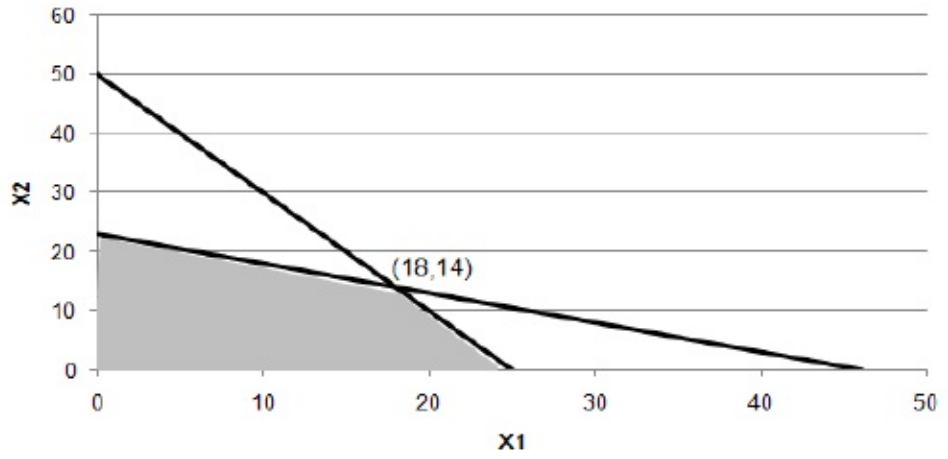
c) Suponga que el trabajador 1 puede trabajar 6 horas adicionales. ¿Cuál sería el nuevo plan de producción y en qué porcentaje varía la utilidad?

Maximizar $Z = 8 X_1 + 14 X_2$
Sujeto a:

$$1 X_1 + 2 X_2 \leq 46$$

$$2 X_1 + 1 X_2 \leq 50$$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



La solución óptima es $X_1 = 18$ y $X_2 = 14$.
El valor óptimo de la función objetivo es Z = 340.
Se fabrican y venderán 18 estantes tipo 1 y 14 estantes tipo 2, para obtener una utilidad de $340.

d) Considerando el modelo inicialmente formulado. Suponga que la relación entre la producción del estante tipo 2 y la producción del estante tipo 1 debe ser por lo menos 2. ¿Cuál sería el nuevo plan de producción y en qué porcentaje varía la utilidad?

Maximizar $Z = 8 X_1 + 14 X_2$

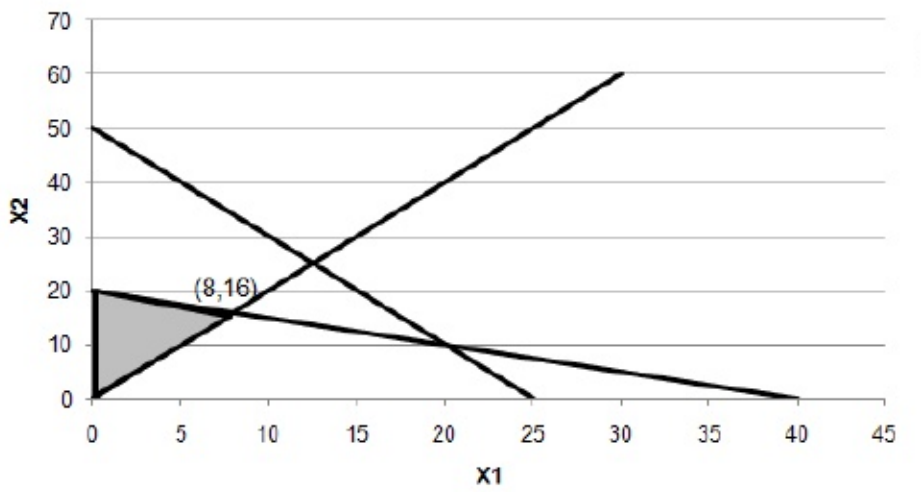
Sujeto a:

$1 X_1 + 2 X_2 \leq 40$

$2 X_1 + 1 X_2 \leq 50$

$- 2 X_1 + 1 X_2 \geq 0$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



La solución óptima es $X_1 = 8$ y $X_2 = 16$.

El valor óptimo de la función objetivo es $Z = 288$.

Se fabrican y venderán 8 estantes tipo 1 y 16 estantes tipo 2, para obtener una utilidad de $288.

La utilidad disminuye en 4%.

Problema 2.

La compañía CAMILA se dedica a la manufactura de dos productos A y B. para fabricar estos productos la empresa cuenta con 3 máquinas, cada una de ellas realiza un proceso diferente en los productos. La máquina 1 puede trabajar hasta 40 horas por semana, mientras que la maquina 2 puede trabajar hasta 50 horas por semana y la máquina 3 hasta 80 horas por semana. La información técnica de los productos, sus precios de venta y costos variables se muestran en la siguiente tabla:

	Tiempo en la	Tiempo en la	Tiempo en la	Costos	Precio

	máquina 1 (hora)	máquina 2 (hora)	máquina 3 (hora)	variables ($)	de venta ($)
Producto A.	0.50	0.50	0.00	100.00	150.00
Producto B.	0.25	0.50	1.00	150.00	220.00

a) Formular un modelo de PL y resuélvalo gráficamente.
b) Interprete los resultados.
c) Suponga que la máquina 3 puede trabajar 30 horas adicionales en tiempo extra. Si la hora extra de esta máquina es $10.00. ¿Cuál es la utilidad que genera cada hora extra utilizada?
d) Considerando el modelo inicial. Suponga que la máquina 3 es remplazada por la máquina 4 que puede trabajar 40 horas por semana y que requiere ¼ de hora para procesar el producto A y ½ hora para procesar el producto B. lo que a su vez posibilita que el tiempo de la máquina 1 para procesar el producto A se reduzca de ½ a ¼ de hora. Determine si conviene hacer el cambio.

Solución:

a) Formular un modelo de PL y resuélvalo gráficamente

- Variables de decisión:

X_1: número de unidades del producto A que se producirán semanalmente.

X_2: número de unidades del producto B que se producirán semanalmente.

- Cálculo de Utilidad por Producto.

Utilidad por Producto 1 = (150 - 100) = 50.

Utilidad por Producto 2 = (220 - 150) = 70.

- Por lo tanto el modelo de PL es.

Maximizar $Z = 50X_1 + 70X_2$

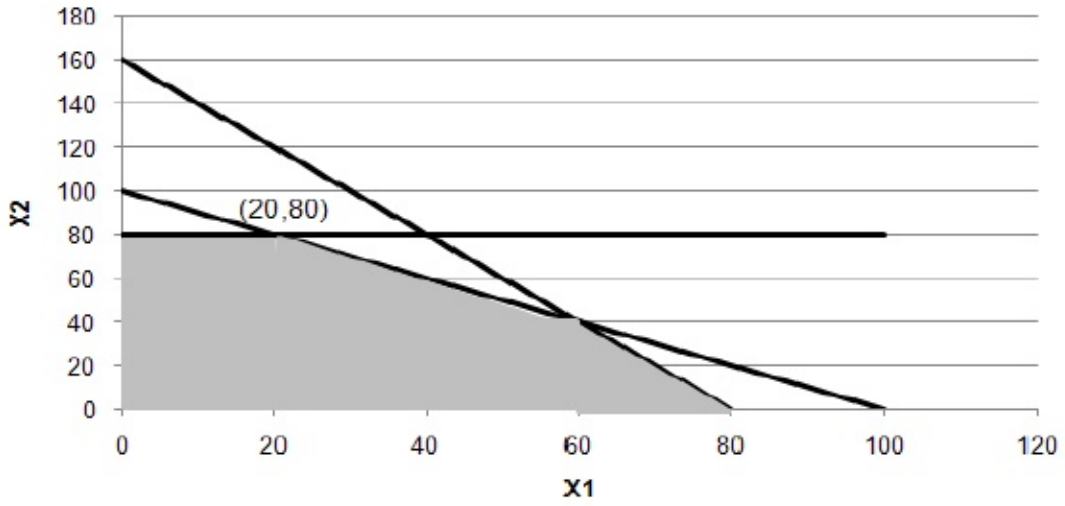
Sujeto a:

$0.5\ X_1 + 0.25\ X_2 \leq 40$

$0.5\ X_1 + 0.5\ X_2 \leq 50$

$X_2 \leq 80$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



La solución óptima es $X_1 = 20$ y $X_2 = 80$.
El valor óptimo de la función objetivo es Z = 6600.

b) Interprete los resultados.

Se producirán 20 unidades del producto A y 80 unidades del producto B, para obtener una utilidad de $6600.

c) Suponga que la máquina 3 puede trabajar 30 horas adicionales en tiempo extra. Si la hora extra de esta máquina es $10.00. ¿Cuál es la utilidad que genera cada hora extra utilizada?

Maximizar $Z = 50X_1 + 70X_2$

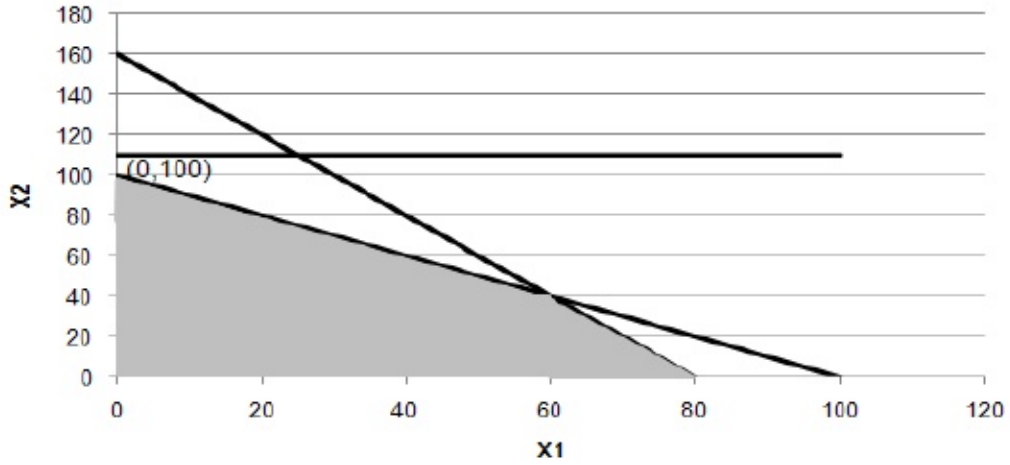
Sujeto a:

$0.5\ X_1 + 0.25\ X_2 \leq 40$

$0.5\ X_1 + 0.5\ X_2 \leq 50$

$X_2 \leq 110$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



Se producirán cero unidades del producto A y 100 unidades del producto B para obtener una utilidad de 7000 – 200 = $6800.

El incremento de utilidad es 6800 – 6600 = $ 200. La utilidad que genera cada hora extra es 200/20 = $10.

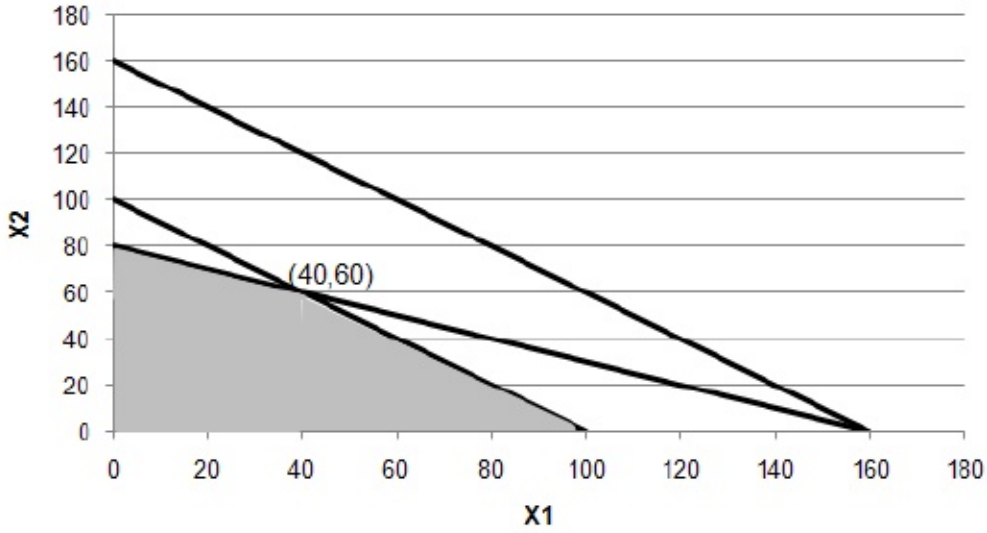
d) Considerando el modelo inicial. Suponga que la máquina 3 es reemplazada por la máquina 4 que puede trabajar 40 horas por semana y que requiere ¼ de hora para procesar el producto A y ½ hora para procesar el producto B. lo que a su vez posibilita que el tiempo de la máquina 1 para procesar el producto A se reduzca de ½ a ¼ de hora. Determine si conviene hacer el cambio.

Maximizar $Z = 50X_1 + 70X_2$

Sujeto a:

$$0.25\,X_1 + 0.25\,X_2 \leq 40$$
$$0.5\,X_1 + 0.5\,X_2 \leq 50$$
$$0.25\,X_1 + 0.5\,X_2 \leq 40$$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



La solución óptima es $X_1 = 40$ y $X_2 = 60$.

El valor óptimo de la función objetivo es Z = 6200.

Entonces, no conviene hacer el cambio.

Problema 3.

La compañía KODAK fabrica dos clases de cámaras de 35mm. El proceso de producción de las cámaras normales requiere dos horas de tiempo de producción en el departamento 1 y tres en el departamento 2. Fabricar su modelo de lujo

requiere cuatro horas de tiempo en el departamento 1 y tres en el departamento 2. En la actualidad existen disponibles 80 horas de mano de obra por semana en cada uno de los departamentos. Este tiempo de mano de obra es un factor un tanto restrictivo porque la compañía tiene una política general de evitar el tiempo extra, si es posible. Las utilidades del fabricante para cada cámara normal son de $30.00, mientras que la utilidad para el modelo de lujo es de $40.00. Los registros previos de ventas señalan que, en promedio, pueden venderse un mínimo de 10 cámaras normales y 10 de lujo por semana.

a) Formular un modelo de PL y resuélvalo gráficamente
b) Interprete los resultados

Solución:

a) Formular un modelo de PL y resuélvalo gráficamente.

- Variables de decisión.

X_1: cantidad de cámaras normales a fabricar.

X_2: cantidad de cámaras de lujo a fabricar.

- El modelo de PL es.

Maximizar $Z = 30X_1 + 40X_2$

Sujeto a:

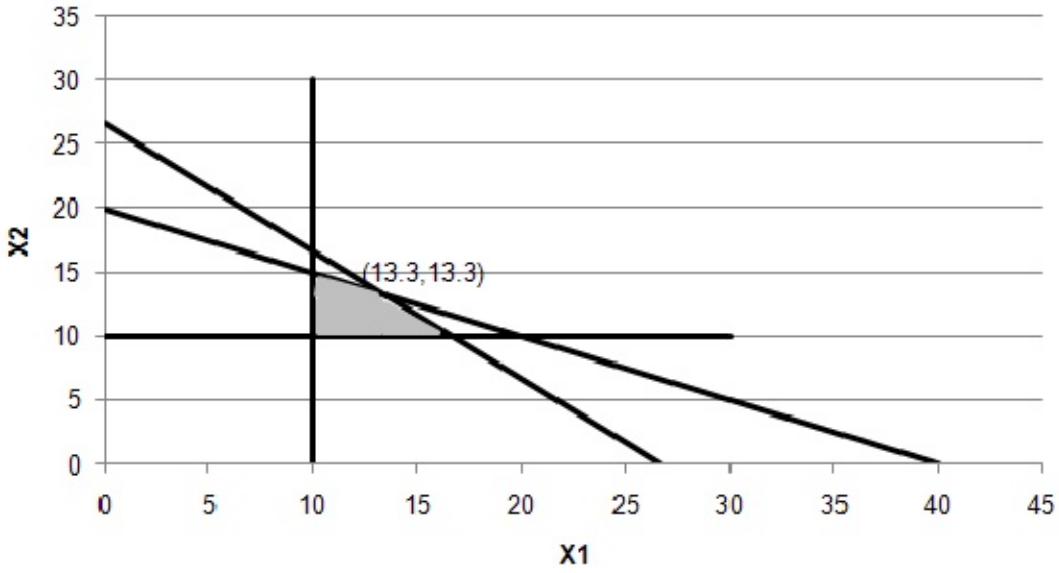
$2X_1 + 4X_2 \leq 80$

$3X_1 + 3X_2 \leq 80$

$X_1 \geq 10$

$X_2 \geq 10$

Con $X_1, X_2 \geq 0$



La solución óptima es $X_1 = 13.3$ y $X_2 = 13.3$; $Z = 933.33$

b) Interprete los resultados.

Se deben fabricar 13.3 cámaras normales y 13.3 cámaras de lujo para obtener una utilidad de $933.33.

Problema 4

La compañía JUANA fabrica dos productos (1 y 2) procesando materia prima. Se puede comprar cantidades ilimitadas de materia prima a un costo de 5.00 soles por kilo, pero el proveedor solo acepta como pedido mínimo 90 kilos de materia prima. Se puede utilizar un kilo de materia prima para producir 1 kilo de producto 1 o ¼ de kilo del producto 2. Usar un kilo de materia prima para producir un kilo del producto 1 requiere 2 horas de mano de obra. Usar un kilo de materia prima para producir ¼ de kilo del producto 2 requiere 3 horas de mano de obra. Se disponen 200 horas de mano de obra; se pueden vender a lo más 40 kilos del producto2. Se vende el producto 1 a 7.00 soles por kilo y el producto 2 a 40 soles por kilo.

A continuación se presenta las variables de decisión:

X_1: cantidad de kilos de materia prima utilizadas para fabricar el producto 1.

X_2: cantidad de kilos de materia prima utilizadas para fabricar el producto 2.

X_3: cantidad de kilos de materia prima compradas.

a) Formular un problema de programación lineal, usar variables de decisión dadas.

b) Resolver el problema de programación lineal usando el método simplex.

Solución:

a) Formular un problema de programación lineal, usando las variables de decisión dadas.

Maximizar $Z = 7 X_1 + (40/4) X_2 - 5 X_3$

Sujeto a: $2 X_1 + 3 X_2 \leq 200$

$X_3 \geq 90$

$(X_2 /4) \leq 40$

$X_1 + X_2 - X_3 \leq 0$

Con $X_1, X_2, X_3 \geq 0$

b) Resolver el problema de programación lineal usando el método simplex.

Maximizar $Z = 7 X_1 + 10 X_2 - 5 X_3 + 0 S_2 + 0 S_1 – M A_1 + 0 S_3 – M A_2$

Sujeto a: $2 X_1 + 3 X_2 + S_1 = 200$

$X_3 – S_2 + A_1 = 90$

$X_2 + S_3 = 160$

$X_1 + X_2 - X_3 + A_2 = 0$

Con $X_1, X_2, X_3, S_1, S_2, S_3, A_1, A_2 \geq 0$

	C_i	7	10	-5	0	0	-M	0	-M	Valor	
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_2	S_1	A_1	S_3	A_2	b_i	
0	S_1	2	3	0	0	1	0	0	0	200	200/3 = 66,6
-M	A_1	0	0	1	-1	0	1	0	0	90	
0	S_3	0	1	0	0	0	0	1	0	160	160/1 =160
-M	A_2	1	1	-1	0	0	0	0	1	0	0/1 = 0
	Z_i	-M	-M	0	M	0	-M	0	-M	-90M	
	$Z_i - C_i$	-M - 7	-M - 10	5	M	0	0	0	0		

	C_i	7	10	-5	0	0	-M	0	-M	Valor	
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_2	S_1	A_1	S_3	A_2	b_i	
0	S_1	-1	0	3	0	1	0	0	-3	200	200/3 = 66,6
-M	A_1	0	0	1	-1	0	1	0	0	90	90/1 = 90
0	S_3	-1	0	1	0	0	0	1	-1	160	160/1 = 160
10	X_2	1	1	-1	0	0	0	0	1	0	
	Z_i	10	10	-M - 10	M	0	-M	0	10	-90M	
	$Z_i - C_i$	3	0	-M - 5	M	0	0	0	M + 10		

	C_i	7	10	-5	0	0	-M	0	-M	Valor	
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_2	S_1	A_1	S_3	A_2	b_i	
-5	X_3	-0,333	0	1	0	0,3333	0	0	-1	66,666667	
-M	A_1	0,3333	0	0	-1	-0,333333	1	0	1	23,333333	(70/3)/(1/3)=70
0	S_3	-0,666667	0	0	0	-0,333333	0	1	0	93,333333	
10	X_2	0,666667	1	0	0	0,333333	0	0	0	66,666667	(200/3)/(2/3)=100
	Z_i	-M/3	10	-5	M	M/3	-M	0	-M+5	-(70/3)M+100/3	
	$Z_i - C_i$	-M/3	0	0	M	M/3	0	0	5		

	C_i	7	10	-5	0	0	-M	0	-M	Valor
C_j	V. Básica	X_1	X_2	X_3	S_2	S_1	A_1	S_3	A_2	b_i
-5	X_3	0	0	1	-1	0	1	0	0	90
7	X_1	1	0	0	-3	-1	3	0	3	70
0	S_3	0	0	0	-2	1	2	1	2	140
10	X_2	0	1	0	2	1	-2	0	-2	20
	Z_i	7	10	-5	4	3	-4	0	1	240
	$Z_i - C_i$	0	0	0	4	3	M - 4	0	M + 1	

Por lo tanto:

$X_1 = 70$, $X_2 = 20$, $X_3 = 90$, $Z = 240$.

Interpretación:

Debe utilizarse 70 kilos de materia prima para fabricar el producto 1.

Debe utilizarse 20 kilos de materia prima para fabricar el producto 2.

Debe comprarse 90 kilos de materia prima para obtener una utilidad de 240 soles.

CAPÍTULO 4. PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS

4.1. FUNDAMENTOS Y TÉCNICA DE REDES.

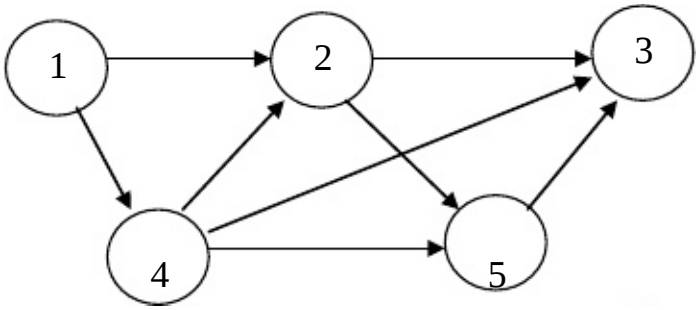
Una gráfica o red se define mediante dos conjuntos de símbolos: nodos y arcos. Primero, se define un conjunto (llamelo V) de puntos extremo o vértices. Los vértices de una gráfica o red también se llaman nodos.

Un arco consiste en un par ordenado de puntos extremos y representa una posible dirección de movimiento que podría ocurrir entre puntos extremos (o vértices). Un arco, se denota de la siguiente manera: (j, k) donde el nodo j es el nodo inicial y el nodo k es el nodo terminal.

La notación para describir una red es:

G = (N, A).
N es el conjunto de nodos
A es el conjunto de arcos.

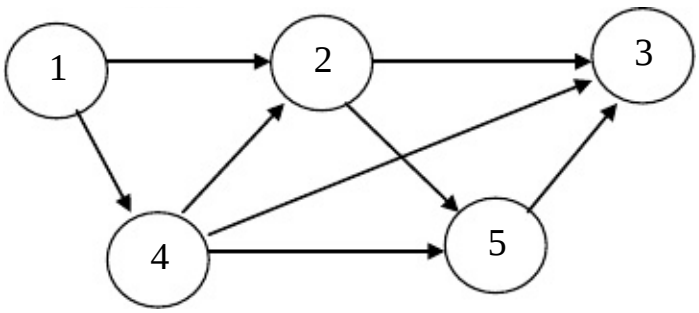
Ejemplo:



N = {1, 2, 3, 4, 5}
A = {(1, 2), (1, 3), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (3, 4), (3, 5), (4, 5)}

Una secuencia de arcos tal que cada arco tiene exactamente un vértice en común con el arco previo, se llama cadena.

Una trayectoria es una cadena en la que el nodo final de cada arco es idéntico al nodo inicial del arco siguiente.



(1, 2) - (2, 4) - (3, 4) - (3, 5) es una cadena.
(1, 2) - (2, 3) - (3, 4) - (4, 5) es una trayectoria.
El flujo que pasa de un nodo a otro a través de un arco es desconocido en la red y se le denota como X_{ij} para el flujo entre los nodos i y j.

Algunos ejemplos de flujo son:

- Gas natural en un gasoducto.
- Artículos a distribuir de mayoristas a minoristas.
- Artículos a distribuir de fábricas a almacenes.

El costo unitario del flujo para cada arco se denota como C_{ij} para los nodos i y j.

Ejemplo:
En los problemas de distribución, C_{ij} es el costo de envío del nodo i a nodo j.

El flujo de un arco (i, j) de una red varía en un intervalo cerrado (I_{ij}, S_{ij}).
Donde:

- I_{ij} es la mínima capacidad.
- S_{ij} es la máxima capacidad.

4.2. PERT Y CPM.

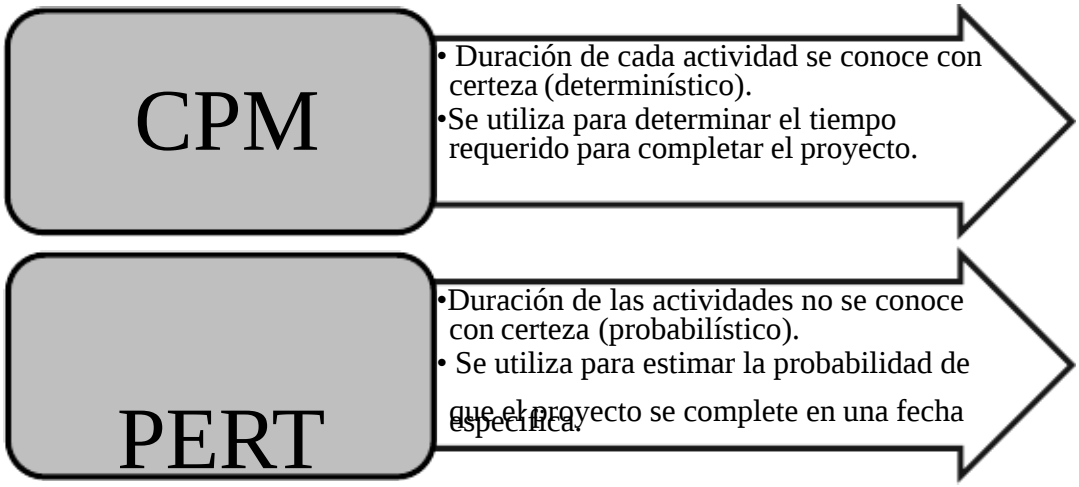
4.2.1. Principios básicos.

Los modelos de red se pueden utilizar como ayuda en la programación de proyectos complejos de gran tamaño que consisten de muchas actividades.

Si la duración de cada actividad se conoce con certeza (tiempo determinístico), entonces el MÉTODO DE LA TRAYECTORIA CRÍTICA (CPM, por sus siglas en inglés Critical Path Method) se utiliza para determinar la longitud del tiempo requerido para completar el proyecto.

El CPM también se utiliza para determinar cuánto se puede retardar cada actividad del proyecto sin retrasar la terminación del mismo. Investigadores de DuPont y Sperry Rand desarrollaron el CPM a finales de la década de 1950.

Si la duración de las actividades no se conoce con certeza (tiempo probabilístico), la técnica PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE (PERT) se utiliza para estimar la probabilidad de que el proyecto se complete en una fecha específica.


CPM
• Duración de cada actividad se conoce con certeza (determinístico).
•Se utiliza para determinar el tiempo requerido para completar el proyecto.
PERT
•Duración de las actividades no se conoce con certeza (probabilístico).
• Se utiliza para estimar la probabilidad de que el proyecto se complete en una fecha específica.

Ayudan a determinar:

- ¿Cuál es el tiempo total requerido para terminar el proyecto si no ocurren retrasos?
- ¿Cuándo deben iniciar y terminar las actividades para que no se retrase la terminación del proyecto?
- ¿Cuáles son las actividades "cuello de botella" o críticas en las que se deben evitar retrasos para prevenir que se retrase el proyecto?
- ¿Cuánto retraso puede tolerarse en las actividades no críticas, de modo que no retrase el proyecto?
- ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto se termine a tiempo?
- Si se desea acelerar la terminación del proyecto y se necesita dinero adicional por esa aceleración, ¿cuál es la manera menos costosa de intentar cumplir la nueva meta?

Para aplicar CPM.Y PERT, se necesita una lista de actividades que conformen el producto. Se considera que el proyecto está completo cuando se terminan todas las actividades. Para cada actividad hay un conjunto de actividades (llamadas predecesores de la actividad) que deben completarse antes que comience la actividad. Un proyecto de red se utiliza para representar las relaciones de precedencia entre actividades.

Un grafo consiste de cierto número de nodos (mostrados como pequeños círculos o rectángulos) y arcos (mostrados como flechas) que van de algún nodo a otro.

Se requieren tres tipos de datos para describir un proyecto:

- Información de la actividad: se desglosa el proyecto en sus actividades individuales.
- Relaciones de precedencia: se identifican los predecesores inmediatos de cada actividad.
- Información de tiempo: se estima la duración de la actividad.

4.2.2. Construcción de un grafo.

Se dispone de dos tipos alternativos de redes de proyecto para hacer esto:

Un primer tipo de es la red de proyecto de actividades en los arcos (AOA, activity on arc), donde cada actividad está representada por un arco. Un nodo se usa para separar una actividad (arco que sale) de cada uno de sus predecesores inmediatos (arcos que llegan). Entonces, la secuencia de arcos muestra las relaciones de precedencia entre las actividades.

Un segundo tipo es la red de proyecto de actividades en los nodos (AON, activity on node), donde cada actividad está representada por un nodo. Los arcos se usan para mostrar las relaciones de precedencia entre las actividades.

Red de proyecto AOA.

En el caso de la red de proyecto AOA, los vértices serán los sucesos y los arcos las actividades. Los sucesos se identifican por números, la actividad que une dos sucesos, "i" y "j", se representa por dichos números (actividad "ij") o por una letra mayúscula (actividad X).

En la red de proyecto AOA se deben cumplir las siguientes condiciones:

a) La red tendrá un nodo Inicio y otro nodo Fin.
b) Toda actividad tendrá al menos, un arco que viene de una actividad anterior y un arco que va a otra actividad posterior.
c) Toda actividad “ij” llegará a un suceso de orden superior al del que sale (i < j).
d) No podrán existir dos actividades que, teniendo el mismo suceso inicial, tengan el mismo suceso final, o viceversa.

Algunas veces, las reglas citadas anteriormente, pueden impedir el plantear las relaciones de precedencia de algunas actividades, de manera directa. Cuando ello ocurre, se usan actividades ficticias.

Las actividades ficticias no consumen tiempo ni recursos, su única finalidad es resolver los problemas de dependencia o precedencia mencionados.

Ejemplo:
Para realizar un determinado proyecto hay que ejecutar 14 actividades, que tienen las siguientes relaciones de precedencia:

- Para empezar D tendrán que finalizar A y B.
- Finalizada B podrán empezar E y F.
- C es inmediatamente anterior a G.
- Para empezar H, I, J, K, L y M tendrá que finalizar D.
- Cuando terminen E, F y G podrán empezar J y K.
- Para realizar I tendrá que finalizar E.
- Para realizar N tendrán que finalizar H, I, J, K y L.

Actividad	Duración en días (d_{ij})	Actividad	Duración en días (d_{ij})
A	9	H	14
B	9	I	10
C	8	J	12
D	8	K	7
E	5	L	3
F	10	M	10
G	9	N	10

A continuación se hará la representación de la red de proyecto AOA.

Red de proyecto AON.

En el caso de la red de proyecto AON, los vértices serán las actividades y los arcos muestran las precedencias . Las actividades se representan por una letra mayúscula (actividad X).

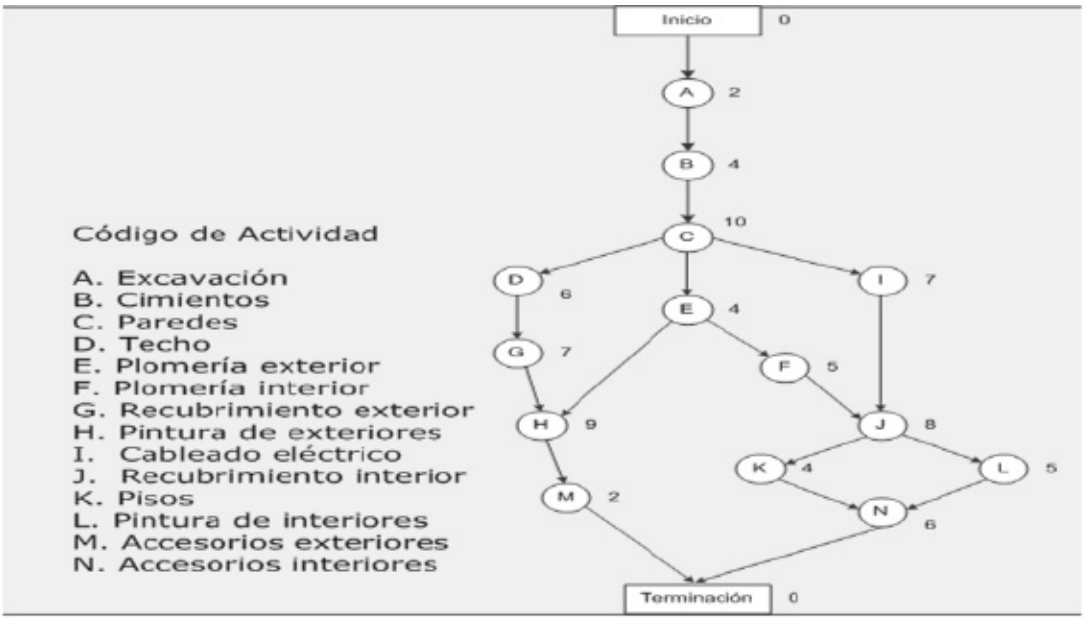
En la red de proyecto AON se deben cumplir las siguientes condiciones:

a) La red solo tendrá un suceso inicial y otro final.

b) Toda actividad, a excepción de la que salga del suceso inicial o llegue al suceso final, tendrá al menos, una actividad precedente y otra siguiente.

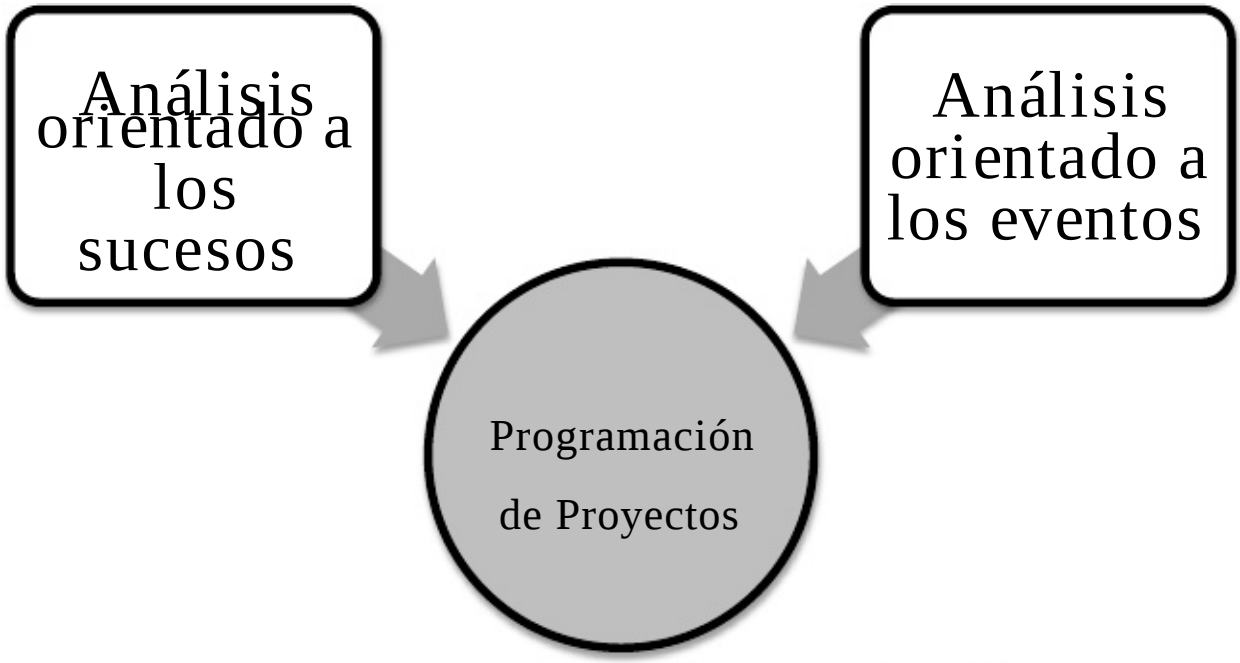
Ejemplo:

Actividad	Descripciónde la Actividad	Predecesores inmediatos	Duración (semanas)
A	Excavación	-	2
B	Colocarlos cimientos	A	4
C	Levantar paredes	B	10
D	Colocarlos techos	C	6
E	Instalar la plomería exterior	C	4
F	Instalar la plomería interior	E	5
G	Poner recubrimiento exterior	D	7
H	Pintura de exteriores	E, G	9
I	Instalar el cableado eléctrico	C	7
J	Colocarrecubrimiento interior	F, I	8
K	Colocarlos pisos	J	4
L	Pintura de interiores	J	5
M	Colocaraccesorios exteriores	H	2
N	Colocaraccesorios interiores	K, L	6



4.3. PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS.

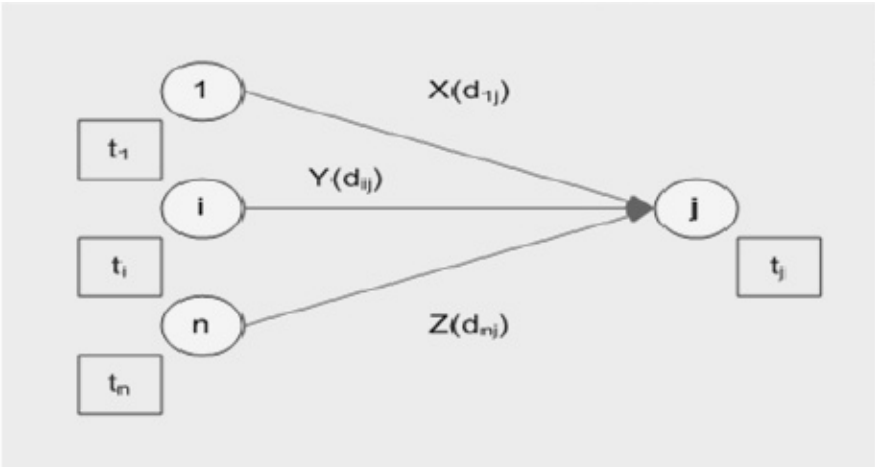
Existen 2 enfoques en la programación de proyectos:



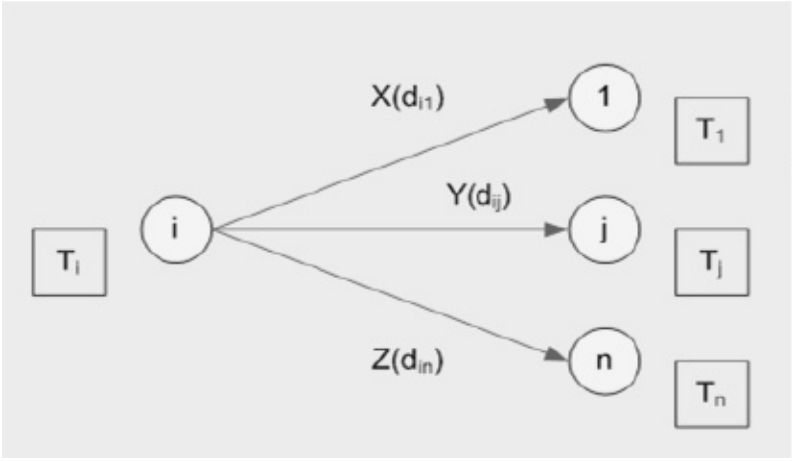
4.3.1. Análisis orientado a los sucesos.

Procedimiento.

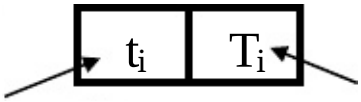
1. Se denotará t_i como la fecha más temprana para iniciar el suceso i.
2. El suceso inicial tendrá $t_1 = 0$.
3. Si a un suceso j, llegan dos o más actividades, la fecha más temprana se calculará usando t_j = máximo ($t_i + d_{ij}$).



4. La duración del proyecto (D_p) será la fecha más temprana del suceso final.
5. Se denotará T_i a la fecha más tardía para iniciar el suceso i.
6. Si de un suceso i salen dos o más actividades, la fecha más tardía se calculará usando T_i = mínimo ($T_j - d_{ij}$).



En resumen se tiene:



Primero se llena desde la actividad inicial hasta la final.

Luego de llenar todos los t_i se comienza a llenar los T_i desde la actividad final hasta la inicial.

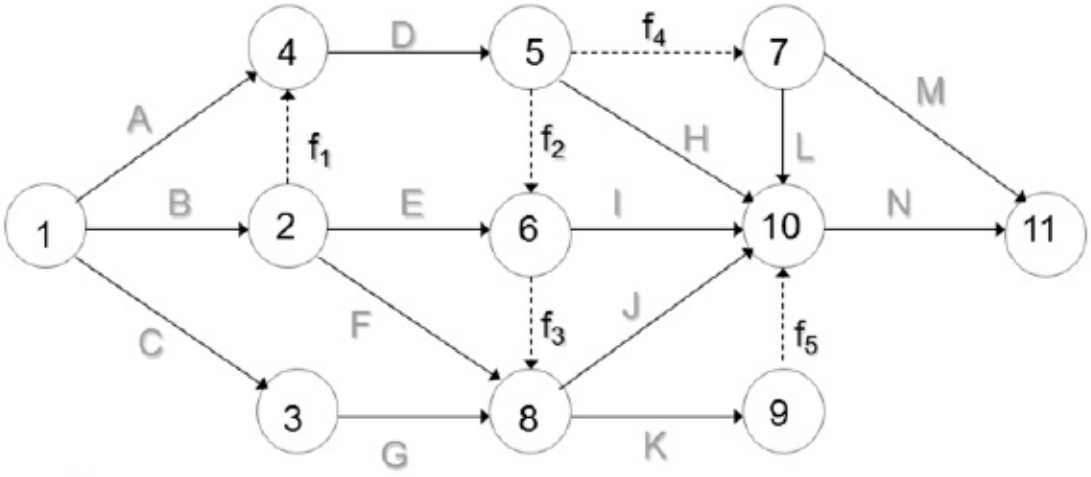
Ejemplo:

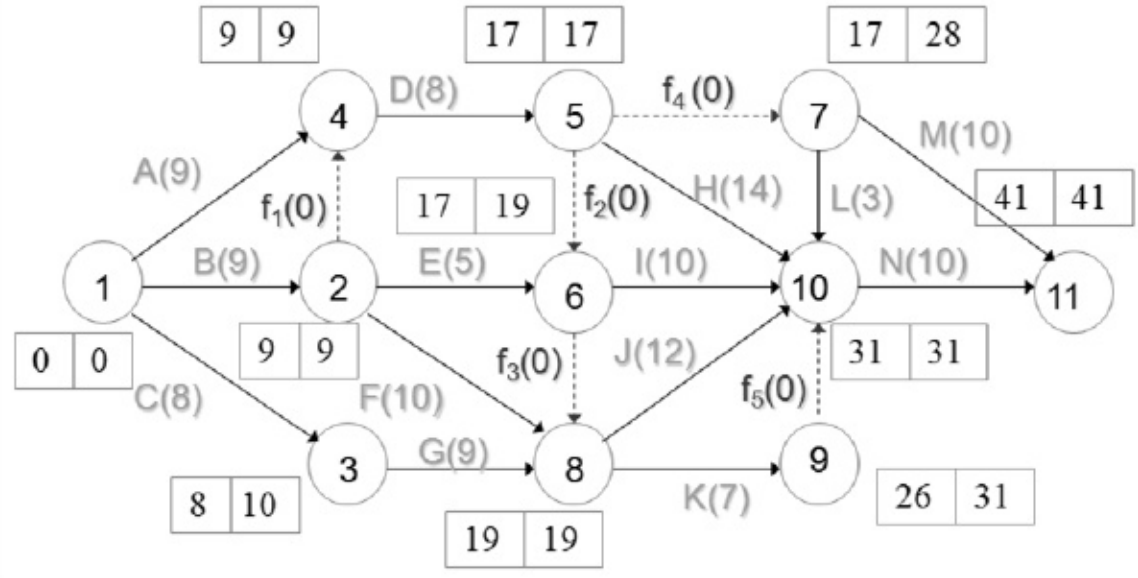
Para realizar un determinado proyecto hay que ejecutar 14 actividades, que tienen las siguientes relaciones de precedencia:

- Para empezar D tendrán que finalizar A y B.
- Finalizada B podrán empezar E y F.
- C es inmediatamente anterior a G.
- Para empezar H, I, J, K, L y M tendrá que finalizar D.
- Cuando terminen E, F y G podrán empezar J y K.
- Para realizar I tendrá que finalizar E.
- Para realizar N tendrán que finalizar H, I, J, K y L.

Actividad	Duración en días (d_{ij})
A	9
B	9
C	8
D	8
E	5
F	10
G	9

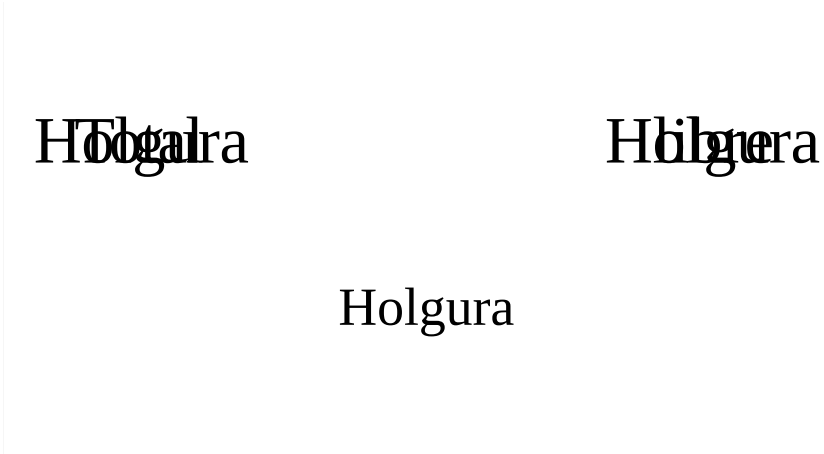
Actividad	Duración en días (d_{ij})
H	14
I	10
J	12
K	7
L	3
M	10
N	10





Holguras.

Existen dos tipos de holguras:



Holgura total.

Representa el tiempo en el que se puede retrasar el comienzo de una actividad sin que suponga un retraso para el fin del proyecto.

La holgura total de una actividad, se calcula mediante $ht_{ij} = T_j - t_i - d_{ij}$.

Holgura libre.

Representa el tiempo en el cual se puede retrasar como máximo una actividad sin retrasar a las otras actividades.

La holgura libre de una actividad, se calcula mediante $hl_{ij} = t_j - t_i - d_{ij}$.

Actividad	Suceso Inicial	Suceso final	d_{ij}	t_i	T_i	t_j	T_j	ht_{ij}	hl_{ij}
A	1	4	9	0	0	9	9	0	0
B	1	2	9	0	0	9	9	0	0
C	1	3	8	0	0	8	10	2	0
f_1	2	4	0	9	9	9	9	0	0
D	4	5	8	9	9	17	17	0	0
f_2	5	6	0	17	17	17	19	2	0
E	2	6	5	9	9	17	19	5	3

Actividad	Suceso Inicial	Suceso final	d_{ij}	t_i	T_i	t_j	T_j	ht_{ij}	hl_{ij}
f_3	6	8	0	17	19	19	19	2	2
F	2	8	10	9	9	19	19	0	0
G	3	8	9	8	10	19	19	2	2
f_4	5	7	0	17	17	17	28	11	0
H	5	10	14	17	17	31	31	0	0
I	6	10	10	17	19	31	31	4	4
J	8	10	12	19	19	31	31	0	0

Actividad	Suceso inicial	Suceso final	d_{ij}	t_i	T_i	t_j	T_j	ht_{ij}	hl_{ij}
K	8	9	7	19	19	26	31	5	0
f_5	9	10	0	26	31	31	31	5	5
L	7	10	3	17	28	31	31	11	11
M	7	11	10	17	41	28	41	14	14
N	10	11	10	31	31	41	41	0	0

Determinación de la ruta crítica.

Actividades críticas: son aquellas cuya duración coincide con su intervalo de ejecución. Es decir Holgura total = 0.

Rutas críticas: son aquellos caminos originados por las actividades críticas. Puede haber más de una ruta crítica en un proyecto.

Ejemplo:

Del ejemplo anterior:

En este caso, las actividades críticas son:
A, B, D, F, J, H y N.

Dichas actividades forman las siguientes rutas críticas:

A-D-H-N,
B-D-H-N,
B-F-J-N

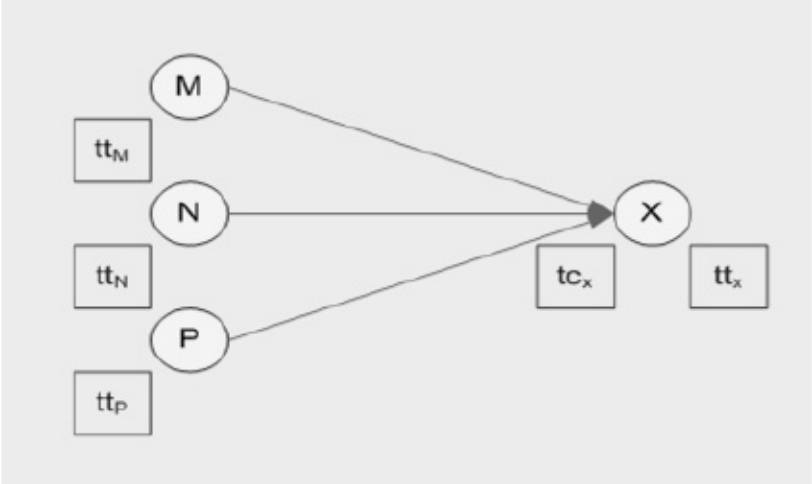
La duración del proyecto es de 41 días.

4.3.2. Análisis orientado a las actividades.

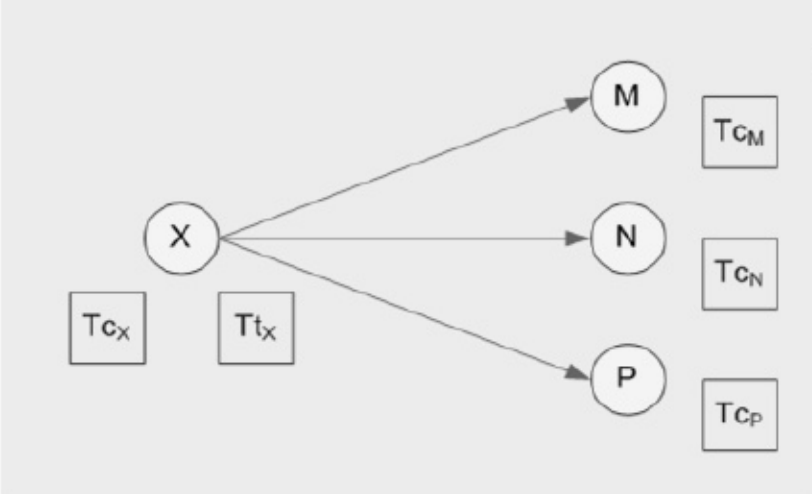
Procedimiento.

1. Se denotará tc_i a la fecha más temprana para comenzar la actividad i.

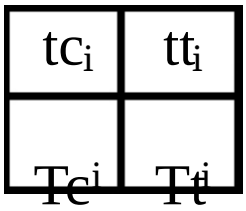
3. Se denotará tt_i a la fecha más temprana para terminar la actividad i.
3. El nodo inicio tendrá $tc_{inicio} = tt_{inicio} = 0$.
4. Si a una actividad X, llegan dos o más actividades, la fecha más temprana de comienzo se calculará usando tc_X = máximo (tt_i).
5. La fecha más temprana de terminación es: $tt_x = tc_x + d_x$.



6. La duración del proyecto (D_p) será la fecha más temprana de terminación del nodo fin.
7. Se denotará Tc_i a la fecha más tardía para comenzar la actividad i.
8. Se denotará Tt_i a la fecha más tardía para terminar la actividad i.
9. Si de una actividad X salen dos o más actividades, se tendrá que la fecha más tardía de terminación es: Tt_X = mínimo (Tc_i).
10. La fecha más tardía de comienzo Tc_i es: $Tc_X = Tt_X - d_X$.



En resumen se tiene:

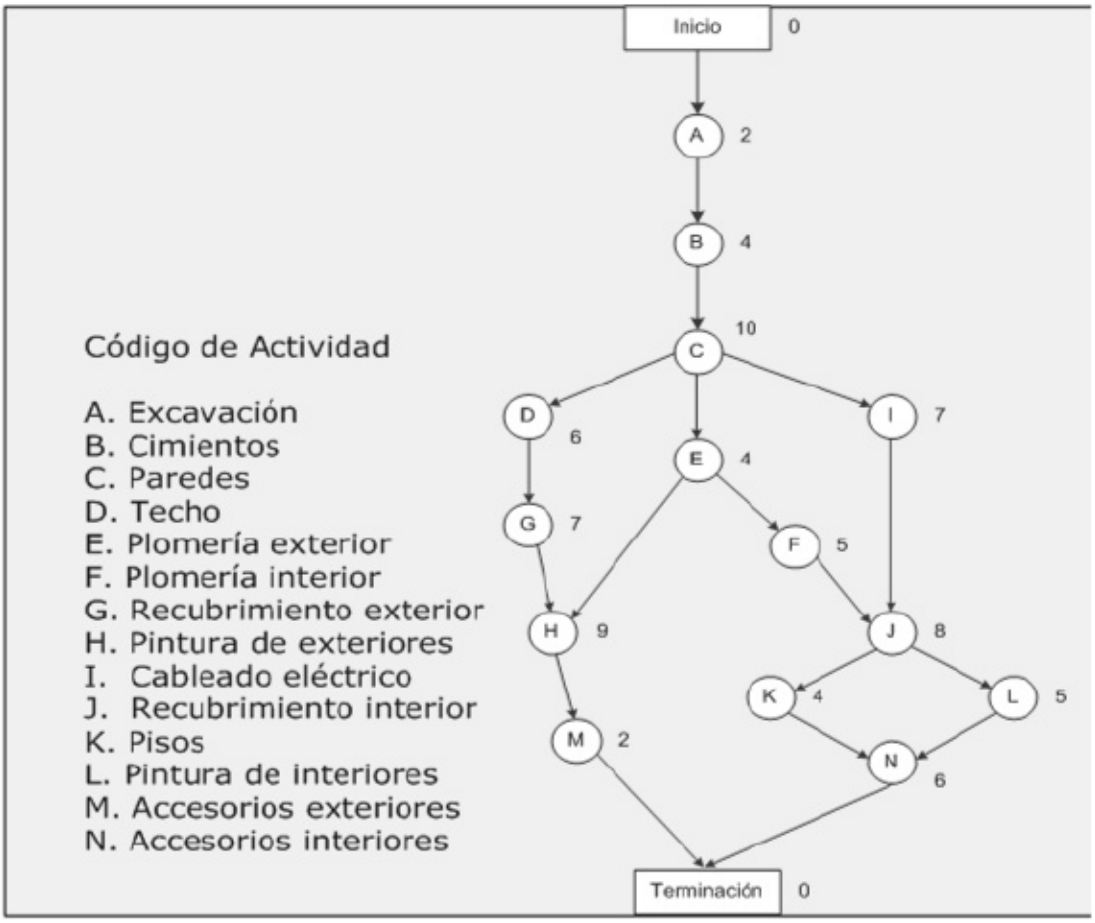


⇨ Desde la actividad inicial hasta la actividad final

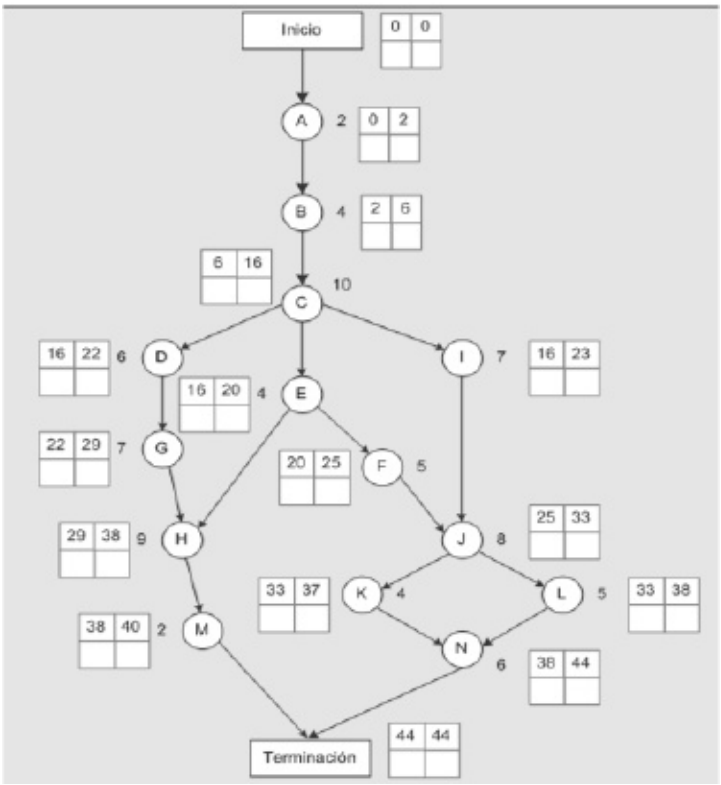
⇦ Desde la actividad final hasta la actividad inicial

Ejemplo:

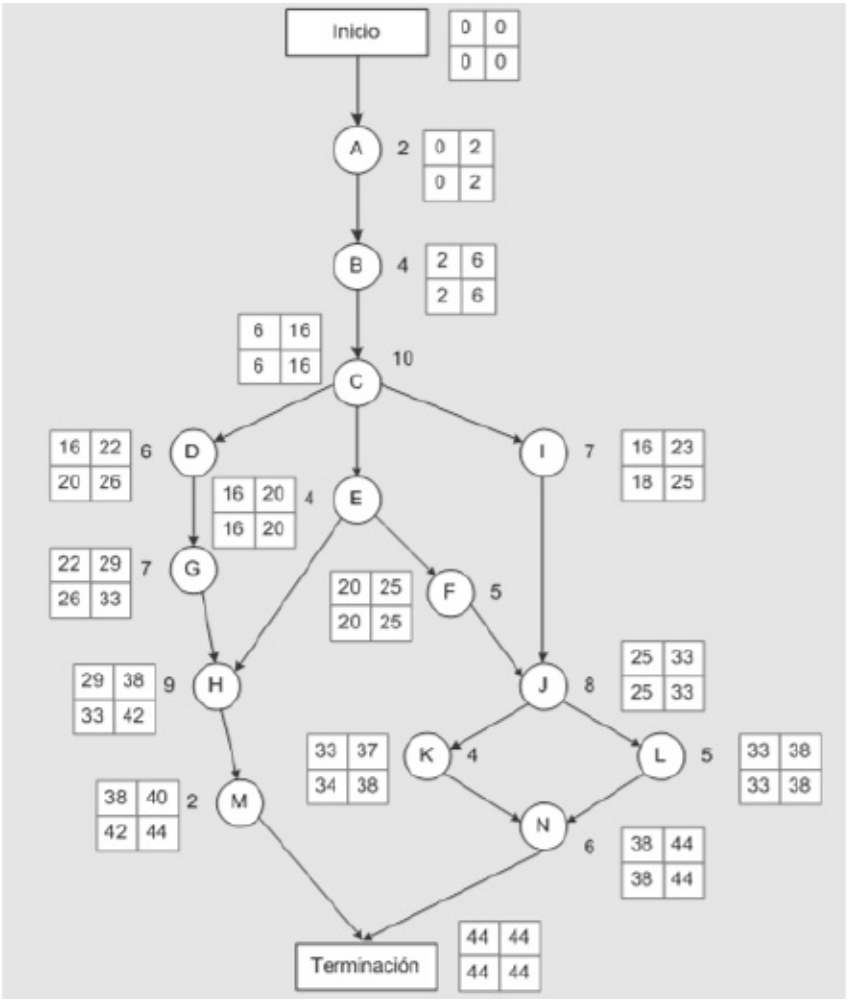
Actividad	Descripción de la Actividad	Predecesores inmediatos	Duración (semanas)
A	Excavación	-	2
B	Colocar los cimientos	A	4
C	Levantar paredes	B	10
D	Colocar los techos	C	6
E	Instalar la plomería exterior	C	4
F	Instalar la plomería interior	E	5
G	Poner recubrimiento exterior	D	7
H	Pintura de exteriores	E, G	9
I	Instalar el cableado eléctrico	C	7
J	Colocar recubrimiento interior	F, I	8
K	Colocar los pisos	J	4
L	Pintura de interiores	J	5
M	Colocar accesorios exteriores	H	2
N	Colocar accesorios interiores	K, L	6



Comenzamos a llenar desde la actividad inicial hasta la actividad final.



Luego procedemos a llenar los tiempos desde la actividad final hasta la actividad inicial



Holgura total.

Representa el tiempo en el que se puede retrasar el comienzo de una actividad sin que suponga un retraso para el fin del proyecto.

La holgura total de una actividad, se calcula mediante $ht_i = Tt_i - tt_i = Tc_i - tc_i$.

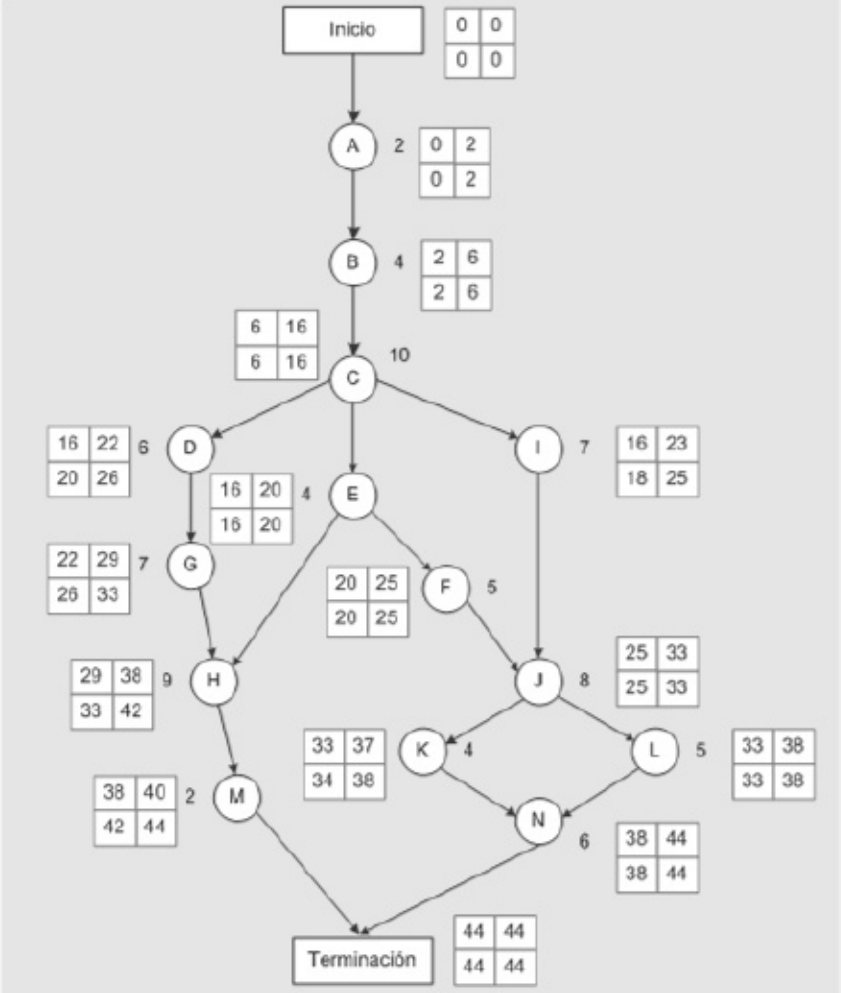
Holgura libre.

Representa el tiempo en el cual se puede retrasar como máximo una actividad sin retrasar a las otras actividades.

La holgura libre de una actividad, se calcula mediante hl_i = mínimo ($tc_j - tt_i$).

Ejemplo:

Del ejemplo anterior, se obtiene la tabla de holguras total y libre.



Actividad	d_i	tc_i	Tc_i	tt_j	Tt_j	ht_i	hl_i
A	2	0	0	2	2	0	0
B	4	2	2	6	6	0	0
C	10	6	6	16	16	0	0
D	6	16	20	22	26	4	0
E	4	16	16	20	20	0	0
F	5	20	20	25	25	0	0
G	7	22	26	29	33	4	0

Actividad	d_i	tc_i	Tc_i	tt_j	Tt_j	ht_i	hl_i
H	9	29	33	38	42	4	0
I	7	16	18	23	25	2	2
J	8	25	25	33	33	0	0
K	4	33	34	37	38	1	1
L	5	33	33	38	38	0	0
M	2	38	42	40	44	4	4
N	6	38	38	44	44	0	0

Donde.
tc = Comienzo, tt = Fin, Tc = Límite de comienzo, Tt = Límite de finalización,
hl = Demora permisible, ht = Margen de demora total

En este caso, las actividades críticas son:
A, B, C, E, F, J, L y N.
Dichas actividades forman la siguiente ruta crítica:
A-B-C-E-F-J-L-N
La duración del proyecto es de 44 semanas.

4.4. CONTROL DE PROYECTOS.

- Conocido el plazo de ejecución de un proyecto hay que hacer un seguimiento del mismo.
- Se obtiene información sobre el avance del proyecto y se toman las medidas correctivas en caso fuera necesario para terminar el proyecto en la fecha deseada.
- Hay que tener en cuenta la posible aparición de nuevos caminos críticos. Si así fuera, hay que reducirlos a todos conjuntamente para poder finalizar en la fecha inicialmente programada.
- La información obtenida de los controles periódicos debe trasladarse a la red.
- Los pasos a seguir son:
  - La fecha de control será la nueva fecha inicial.

- Las actividades finalizadas al momento del control, tendrán duración nula.
- Las actividades en proceso tendrán una duración igual al tiempo que les falta para terminar.
- Las actividades no empezadas no sufrirán variación en cuanto a su duración.

4.5. CONSIDERACIÓN DE LOS COSTOS EN LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO.

Aparición de dos tipos de costos:

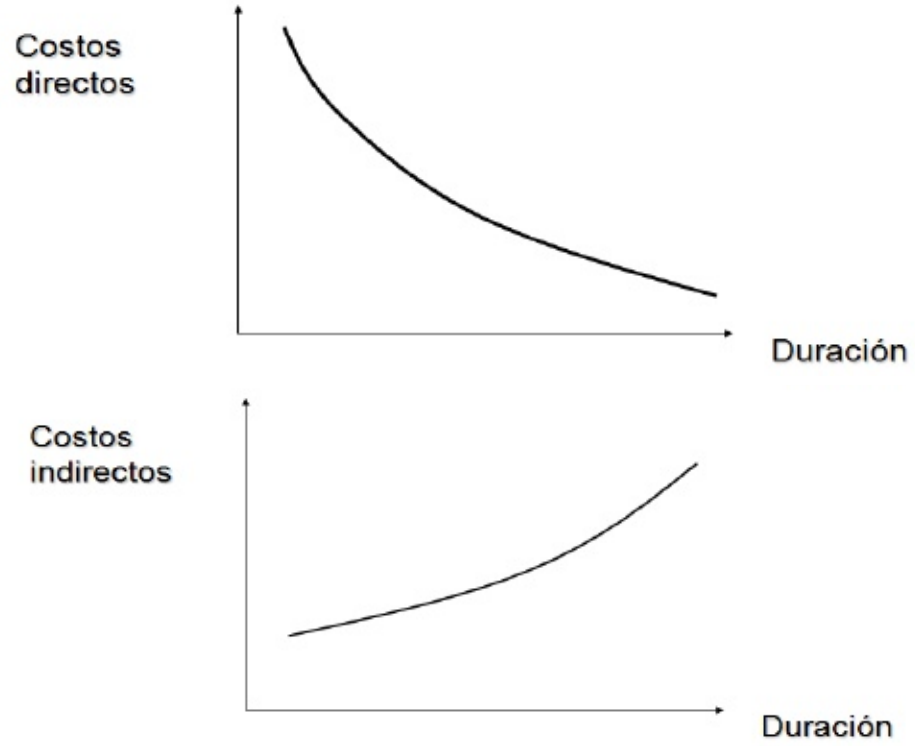
- Directos: provienen de factores directamente imputables a cada actividad: Materia primas, Mano de obra, Horas máquina, etc.
- Indirectos: imputables mediante claves de distribución: Gastos generales, Supervisión, Luz, agua, teléfono, etc.

Suelen estar inversamente relacionados con su duración.

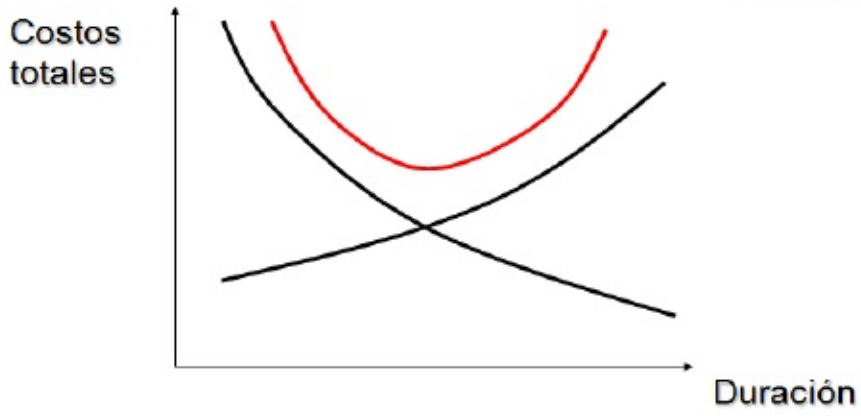
Es conveniente aproximar la curva anterior a una recta entre los puntos R y N.

-

- Se puede reducir la duración de un proyecto hasta que una ruta crítica tenga todas sus actividades en duración récord.
- El Costo normal del proyecto (C_{NP}) será igual a la suma de los costos normales de todas las actividades.
- El Costo récord del proyecto (C_{RP}) será igual al C_{NP} más los incrementos de costos producidos por la reducción de las duraciones de actividades críticas.



Representados por la suma de los costos directos e indirectos.



Ejemplo:

Para realizar un determinado proyecto hay que ejecutar 8 actividades, mostradas en el grafo de la diapositiva siguiente.

Para cada actividad (arco) se tiene lo siguiente: (d_N, d_R /C_{ij})

Donde. d_N: duración normal.

.d_R: duración récord.

.C_{ij}: pendiente de costo (costo reducido).

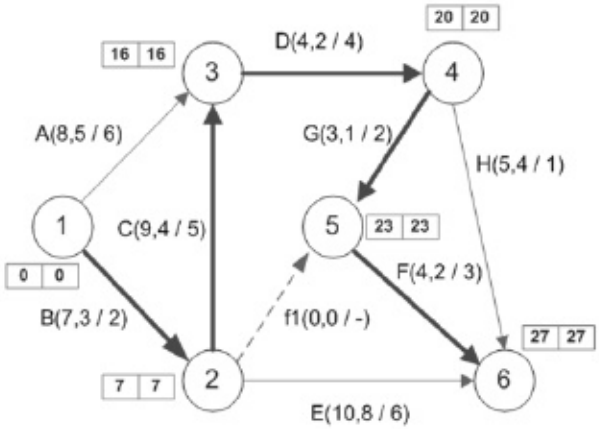
El costo directo total en duración normal es de $400.

El costo indirecto está dado por la siguiente fórmula:

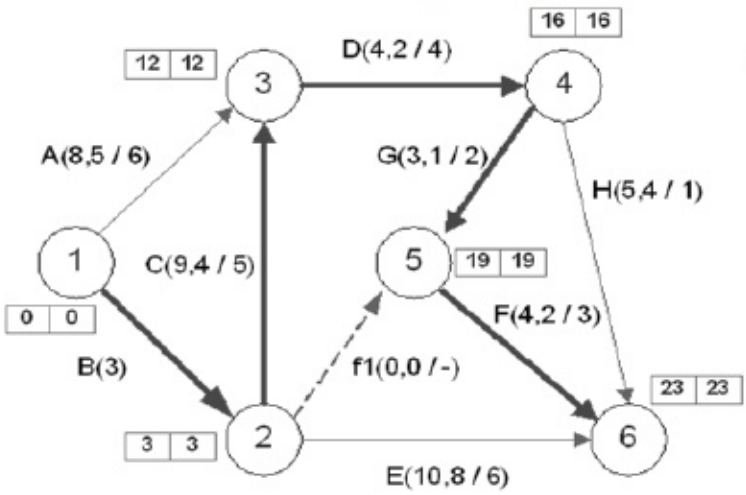
$4D_P + 250$

Hallar la duración óptima.

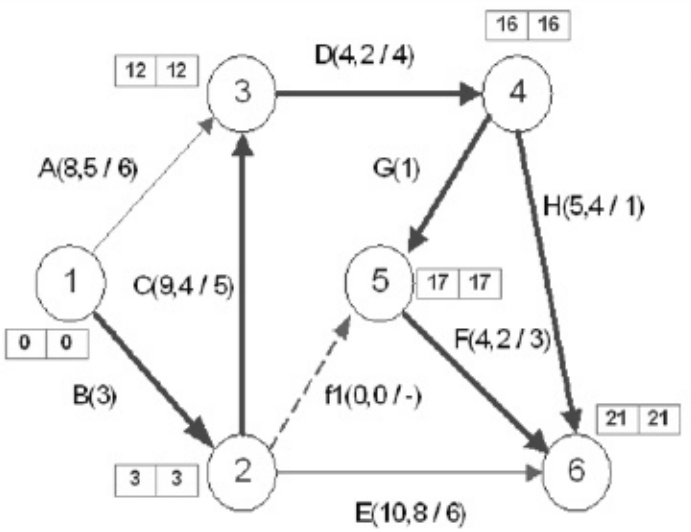
Solución:



Actividad(es) a reducir								
Duración (días)	27							
Incremento del CD	0							
Costo directo	400							
Costo indirecto	358							
Costo total	758							



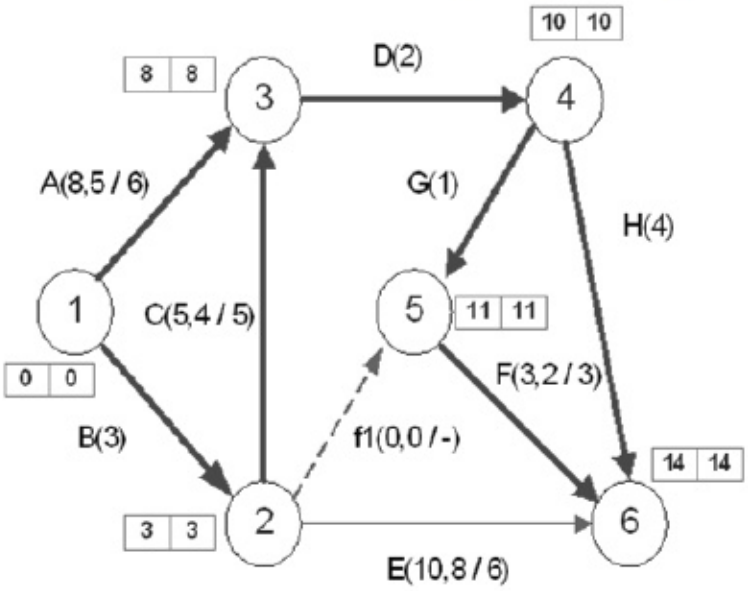
Actividad(es) a reducir		B					
Duración (días)	27	23					
Incremento del CD	0	8					
Costo directo	400	408					
Costo indirecto	358	342					
Costo total	758	750					



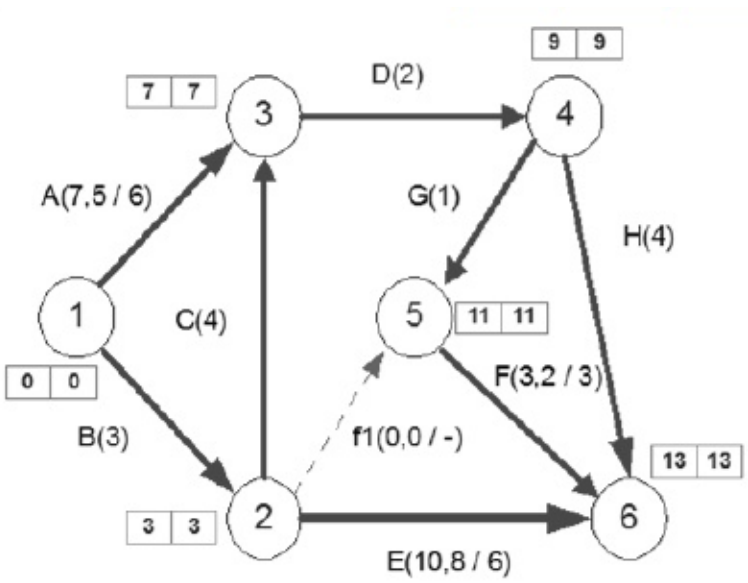
Actividad(es) a reducir		B	G				
Duración (días)	27	23	21				
Incremento del CD	0	8	4				
Costo directo	400	408	412				
Costo indirecto	358	342	334				
Costo total	758	750	746				

Actividad(es) a reducir		B	C	D
Duración (días)	27	23	21	19
Incremento del CD	0	8	4	8
Costo directo	400	408	412	420
Costo indirecto	358	342	334	326
Costo total	758	750	746	746

Actividad(es) a reducir		B	G	D	F, H		
Duración (días)	27	23	21	19	18		
Incremento del CD	0	8	4	8	4		
Costo directo	400	408	412	420	424		
Costo indirecto	358	342	334	326	322		
Costo total	758	750	746	746	746		



Actividad(es) a reducir		B	G	D	F, H	C	
Duración (días)	27	23	21	19	18	14	
Incremento del CD	0	8	4	8	4	20	
Costo directo	400	408	412	420	424	444	
Costo indirecto	358	342	334	326	322	306	
Costo total	758	750	746	746	746	750	



Actividad(es) a reducir		B	G	D	F, H	C	A, C
Duración (días)	27	23	21	19	18	14	13
Incremento del CD	0	8	4	8	4	20	11
Costo directo	400	408	412	420	424	444	455
Costo indirecto	358	342	334	326	322	306	302
Costo total	758	750	746	746	746	750	757

El costo total normal es $758, y la duración de costo total normal es DP = 27 días.

El costo total mínimo es $746, y la duración de costo mínimo es DRP = 18 días.
El costo total de tiempo mínimo es $757, y la duración mínima es DRP = 13 días.

4.6. NIVELACIÓN DE RECURSOS.

Por lo general se restringe el tiempo o los recursos.

- En el primer caso debemos cumplir la terminación del proyecto en un plazo máximo asumiendo que se tienen disponibles todos los recursos (dinero, personal, equipo, etc.).

En el segundo caso no debemos exceder el uso de ciertos recursos y tratar de terminar el proyecto en el menor tiempo posible.

Programado el proyecto, hay que resolver la problemática de asignación de recursos, siguiendo los siguientes pasos:

- Hacer el programa cronológico.
- Hacer el diagrama de cargas.
- Se ajusta la programación moviendo las actividades no críticas de mayor a menor holgura.
- Considerar retrasos que excedan la holgura.
- Contemplar la nivelación de recursos (mayor estabilidad).

Ejemplo:

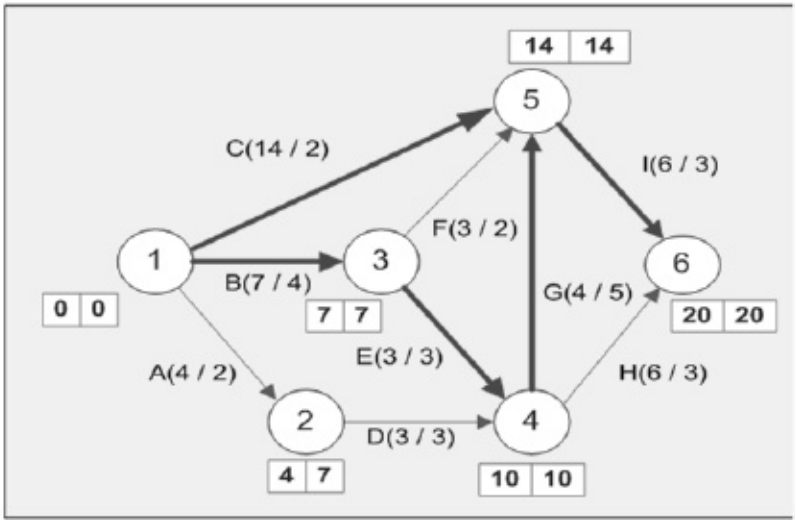
Para realizar un determinado proyecto hay que ejecutar 9 actividades, mostradas en el grafo de la diapositiva siguiente.

Para cada actividad se tiene: (d, r).

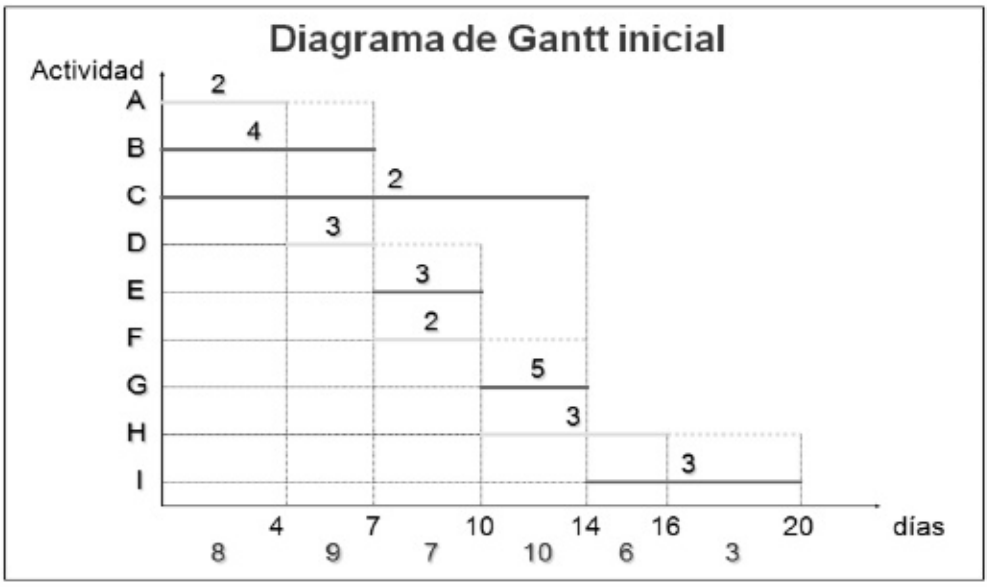
Donde, d: duración de la actividad (días).

r: mano de obra necesaria (personas).

Se quiere nivelar la necesidad de mano de obra diaria.

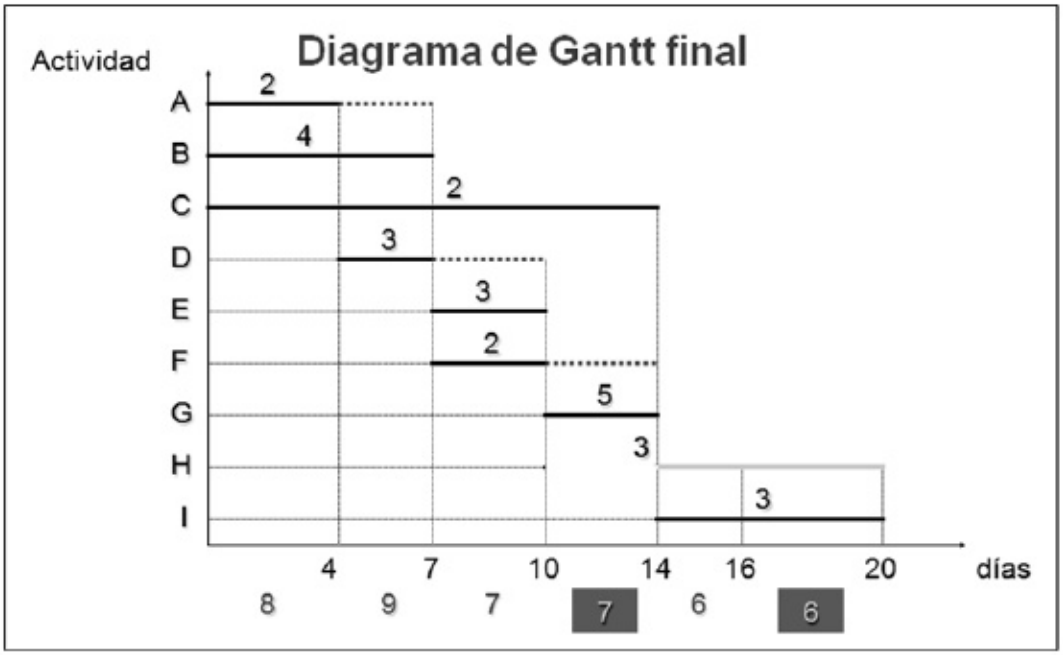


Se procede a realizar el diagrama de Gantt Inicial:



Además es necesario realizar un gráfico de barras:

En base a los pasos mostrados se realiza la nivelación de recursos, el diagrama de Gantt final se muestra a continuación:



Finalmente, con el gráfico de barras final, se puede apreciar el resultado de la nivelación de recursos:

CAPÍTULO 5. SISTEMAS MRP/ERP

5.1. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE MANUFACTURA (MRP II).

Según la mecánica del MRP I, resulta obvio que es posible planificar a partir del plan maestro detallado de producción (MPS) no solamente las necesidades netas de materiales (interiores y exteriores) sino de cualquier elemento o recurso, siempre que puedan construirse algo similar a la lista de materiales que efectúe la pertinente conexión, por ejemplo: horas de manufactura, horas máquina, fondos, contenedores, embalajes, etc.

Así se produce paulatinamente la transformación de la PLANIFICACIÓN DE NECESIDADES DE MATERIALES en una PLANIFICACIÓN DE NECESIDADES DEL RECURSO DE FABRICACIÓN, que es a lo que responde las siglas MRP II (Manufacturing Resource Planning).

Sin embargo, hay otros aspectos que suelen asociarse al MRP II. Uno de ellos es el establecimiento de unos procedimientos para garantizar el éxito del sistema, procedimientos que incluyen fases anteriores al cálculo de necesidades: las de preparación y elaboración del plan maestro detallado de producción. En dichas fases se efectúan los controles globales de factibilidad del plan maestro. El plan maestro, por su parte se conecta a los aspectos financieros inferidos, como una forma de extender la guía del MRP no sólo la producción, sino a toda la empresa, es de carácter global.

Otro aspecto incluido en el MRP II es la posibilidad de simulación, para apreciar el comportamiento del sistema productivo (o de la empresa) en diferentes hipótesis sobre su constitución o sobre las solicitudes externas. Debemos convenir que cualquier sistema MRP realiza una simulación respecto a acontecimientos futuros; es la extensión de estas posibilidades lo que se solicita para el MRP II.

Finalmente, como última característica que se asocia generalmente con MRP II es el control en bucle cerrado, lo que claramente lo hace trascender de relativamente un simple sistema de planificación. Se pretende en esta forma que se alimente el sistema MRP II con los datos relativos a los acontecimientos que se vayan sucediendo en el sistema productivo, lo que permitirá al primero realizar las

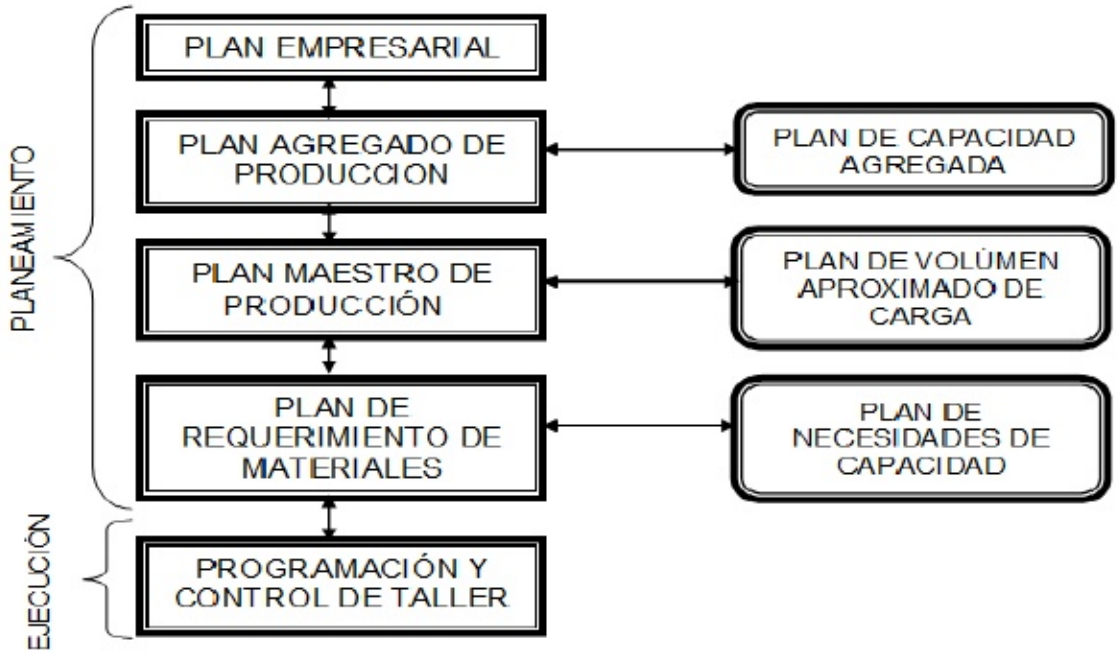
sucesivas replanificaciones con un mejor ajuste a la realidad como lo muestra la siguiente figura:

Características adicionales del MRP II respecto al MRP I
· Planificación de capacidad. · Niveles de planificación definidas. · Política de Plan Maestro estructurada y documentada incluyendo aspectos financieros. · Posibilidades de simulación. · Realimentación en bucle cerrado.

En síntesis podemos definir el MRP IIcomo: Sistema de planeamiento y control de la producción totalmente integrado de todos los recursos de manufactura de la compañía (producción, marketing, finanzas e ingeniería) basado en un soporte informático.

5.1.1. NIVELES DEL MRP II.

El MRP II, consta de cinco niveles, cuatro de ellos son de planeamiento y uno de control y producción, cada nivel responde a ¿Cuánto y cuándo se va a producir? y ¿Cuáles son los recursos disponibles?, teniendo en cuenta para esto la capacidad de la empresa como lo muestra la siguiente Figura:



Enseguida describiremos cada uno de estos niveles:

PRIMER NIVEL.

- Plan Empresarial (Plan estratégico del negocio): el plan empresarial es un informe del nivel general de actividades de la organización para los próximos años (de 1 a 5 años). Elaborado en el nivel ejecutivo más elevado, el plan se basa en pronósticos de las condiciones generales de la economía, condiciones futuras del sector industrial y consideraciones de carácter competitivo, señala la estrategia de la empresa para competir durante el o los años siguientes. En general, se expresa en términos de resultados (volúmenes de ventas en términos monetarios) revisados cada 6 meses o inclusive trimestrales, para cada una de sus líneas de productos, pero no para las cosas específicas o para los productos individuales dentro de cada línea. También puede especificar los niveles globales de inventarios y de pedidos no surtidos (pedidos pendientes) que se deberán mantener durante el período de planeación.

SEGUNDO NIVEL.

- Planeación de producción agregada: este plan es la parte proporcional de la producción del plan de negocios y se refiere al lado de la demanda de estas actividades globales, mostrando los resultados que se deben alcanzar, expresados en números de unidades de sus líneas de productos o familias. Abarca los próximos 6 a 18 meses y se expresa en términos de semanas o meses. La planeación a este nivel ignora detalles tales como cuál debe de ser el volumen de producción para cada producto, estilo, opción de color y modelo. El plan reconoce la capacidad fija existente de la división y los sistemas generales de la empresa así como las políticas de empleo y subcontratación.
- Planeación de capacidad agregada: cualquier exposición que designe los deseos de producción, no tiene utilidad alguna, a menos que se pueda llevar a cabo y sea factible. La planeación de la capacidad traduce los planes de producción del área de producción en términos de insumos para aproximarse a la determinación de qué proporción de la capacidad de producción de división será requerida o consumida. Como resultado de lo anterior, la planeación agregada es un proceso que permite llegar a un equilibrio entre los niveles de producción, las restricciones sobre las capacidades que se fijan y los ajustes temporales de la capacidad para satisfacer la demanda y utilizar la capacidad a los niveles deseados para los próximos meses. El plan resultante establece los límites para el plan maestro de producción.

TERCER NIVEL.

- Plan maestro de producción (MPS O PMP): es el propósito del plan maestro es satisfacer la demanda de cada uno de los productos dentro de su línea. Este nivel de planeación más detallado desagrega las líneas de producción en cada uno de los productos e indica cuánto deben de producirse y cuándo. Por lo tanto, proporciona una promesa de envío realista que toma en cuenta los actuales pedidos pendientes cuando las nuevas órdenes de ventas han sido registradas.
- Planeación de la capacidad aproximada (RCA, roughcut capacity planning): la planeación de la capacidad aproximada se lleva a cabo junto con el plan maestro tentativo o previo para evaluar la factibilidad de la capacidad antes de que el MPS quede definitivamente establecido. Es una manera rápida y económica para encontrar y corregir las discrepancias más importantes que surgen entre los requerimientos de capacidad (por ejemplo en las horas de mano de obra directa) de MPS y la capacidad disponible.

CUARTO NIVEL.

- Planeación de los requerimientos de materiales (MRP): el programa maestro es la fuerza que mueve el sistema MRP, éste procesa la información conjuntamente con la lista de materiales y los stocks, muestra los requerimientos señalados en el tiempo para la salida y recepción de materiales, que permiten que sea implantado el MPS, sobre éste se comentó en la parte correspondiente al MRP I.
- Planeación de la capacidad detallada (DCP Detailed capacity planning): es un proceso paralelo que acompaña al MRP para identificar en detalle la capacidad que se requiere para la ejecución del plan de materiales. En este nivel es posible realizar comparaciones más precisas de la capacidad disponible y la necesaria para las cargas de trabajo programadas.

QUINTO NIVEL.

- Programación de actividades y control del taller: en este nivel destaca la coordinación de las actividades semanales y diarias para que los trabajos se lleven a cabo. Los puestos individuales son asignados a las máquinas y a los centros de trabajo (carga), se determina la secuencia del proceso de los puestos para la prioridad en el control. Los tiempos de inicio y las asignaciones en los puestos son decididas para cada una de las etapas del proceso (programación detallada), y se hace el seguimiento o monitoreo de los

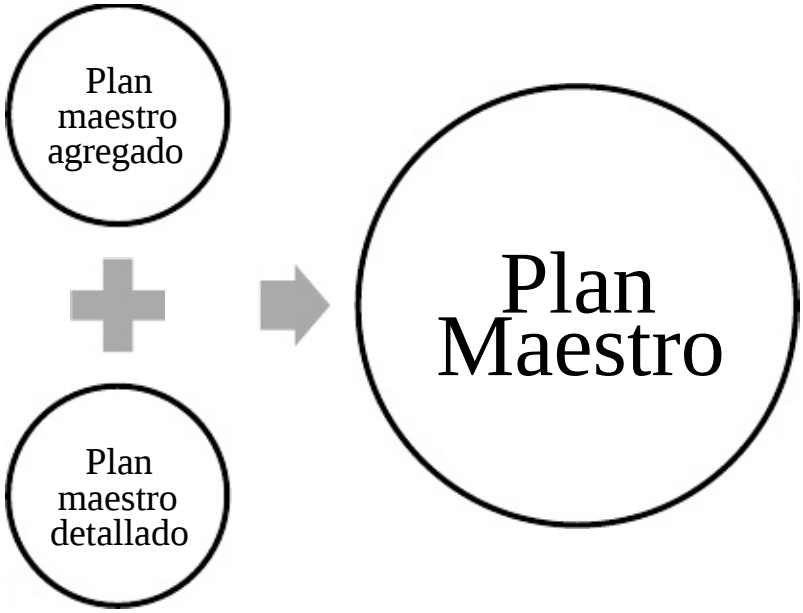
materiales y de los flujos de trabajo entre cada una de las estaciones de trabajo, llevándose también a cabo los ajustes necesarios (acortamiento). La coordinación de todas estas actividades en flujos uniformes, especialmente cuando surgen retrasos no planeados y nuevas prioridades, a menudo requieren ajustes de último minuto en las producciones y en las capacidades (control de la capacidad a corto plazo). Cada plan puede cambiarse y reprogramarse por cada nivel, estos 5 niveles varían en:

- Propósito (de lo general a lo detallado).
- Horizonte (de años a días).
- Nivel de detalle (de características generales a componentes individuales).
- Ciclo de planeamiento.

Como puede verse en la siguiente Figura:

5.1.2. ELABORACIÓN DEL PLAN MAESTRO.

Naturalmente, las modalidades y procedimientos a utilizar concretamente en la elaboración del plan maestro son función del tipo y problemática de la empresa y del sistema productivo considerado.



Elaboración del plan maestro agregado.

El punto de partida es la información comercial relativa a previsiones y pedidos. Esta información proviene, en general, de los puntos distintos de la empresa y puede tener formatos diferentes, su sintetización en un único esquema (tanto referido al producto como al tiempo) es lo que denominamos plan de demanda.

A partir del plan de la demanda se establece un plan maestro agregado tentativo lo que, dada nuestra estructura de planificación, no ofrecerá dificultades mayores pues bastará con utilizar el plan elaborado en el ciclo anterior de planificación sometiéndolos a dos tipos de retoques:

- Añadir la producción a realizar en el último intervalo.
- Corregir, en su caso, valores iniciales si se consideran que se van a producir desviaciones importantes entre los valores planificados y reales del intervalo (mes) en curso. En general, un planificador entrenado, y con ayuda de un sistema informático, puede obtener buenos resultados como se ve frecuentemente en la práctica.

Elaboración del plan maestro detallado.

El proceso es análogo al anterior, salvo el nivel de detalle empleado. A partir de la información comercial se establece el plan de la demanda (detallado), que permite la construcción del plan maestro detallado tentativo. Existe ahora un mayor número de restricciones a respetar dado que el plan detallado debe quedar enmarcado en las directrices fijadas por el plan agregado.

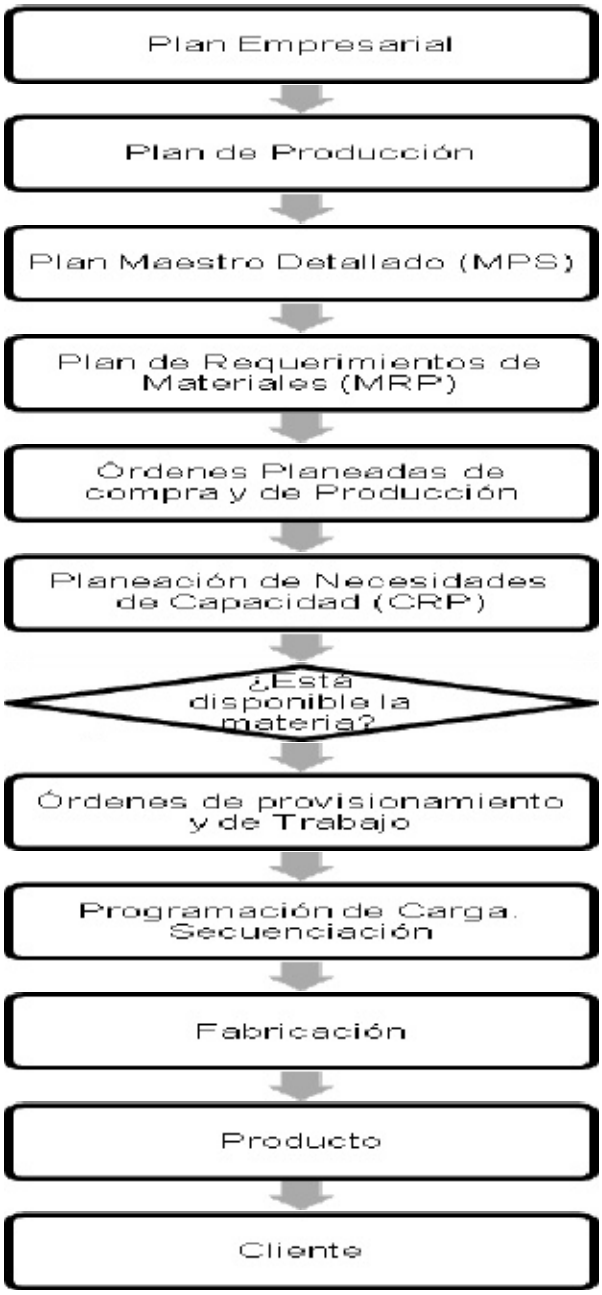
Para mayor claridad lo llamaremos con el nombre de lista de materiales y ciclos de producción, la diferencia reside en la visión todavía macroscópica de dicha información en el caso presente. La participación de los aspectos ligados a componentes de procedencia exterior será más importante aquí, sobre todo si se desea obtener una estabilidad razonable en los programas sucesivos comunicados a los proveedores.

La Planificación en ambos niveles (el procedimiento de elaboración del plan maestro agregado y el plan maestro detallado) sigue el mismo proceso. A partir de las previsiones de la demanda y de la cartera de pedidos se establece un plan de demanda, que sintetiza los datos bajo el mismo formato. A partir del plan de demanda se elabora un plan maestro tentativo, calculándose sus necesidades de carga a partir de los datos técnicos pertinentes.

Estas necesidades se comparan con las capacidades disponibles. En caso de que las necesidades sean coherentes con las disponibilidades, el plan es factible. No obstante, puede ser interesante efectuar modificaciones si en el plan las disponibilidades superan muy apreciablemente las necesidades. En caso de que sean las necesidades las que en un momento determinado superen las disponibilidades habrá que modificar el plan tentativo, bien reduciendo su volumen global, bien desplazando producción para utilizar disponibilidades sobrantes en los intervalos de tiempo diferentes de aquellos en los que se precisaban inicialmente o, si es posible, modificar las disponibilidades considerando recursos no tenidos en cuenta hasta el momento. En el caso en que existan alternativas, por ejemplo en la obtención de los recursos suplementarios, será posible comparar, a través de una evaluación, varios planes maestros alternativos; esta comparación, de producirse, suele limitarse al plan maestro agregado, que es el marco al que debe adaptarse el plan maestro detallado.

5.1.3. LÓGICA DEL MRP II.

Esquema general adaptado de un sistema MRP II.
En el diagrama de bloques de la figura se incluyen la mayoría de las funciones asociadas con el MRP II.



5.1.4. Puesta en marcha del sistema MRP.

Son miles las empresas que en los últimos años se han propuesto instalar un sistema MRP, pero el porcentaje de las mismas que lo han hecho con éxito no es elevado. De estos fracasos ocurridos puede deducirse que la mayor parte han sido debidos a una serie de factores relacionados con la puesta en marcha, así como a un conjunto de prerrequisitos necesarios para un buen funcionamiento del sistema.

La mayor parte de los autores especializados coinciden en resaltar la importancia de los siguientes elementos:

- Exactitud en los datos de entrada, tanto el programa maestro de producción, como la lista de materiales y el registro de inventarios deben responder a la realidad y mantenerse al día.

- El programa maestro debe ser realista en tres sentidos, pues su ejecución va a depender de la disponibilidad de materiales, de tiempo y de capacidad de recursos. La falta de componentes suele ser un síntoma de la existencia de problemas en algunos de los siguientes procesos: planificación de inventarios (cubrimiento insuficiente de las necesidades netas o tiempo de suministro real superior al previsto), compras (retrasos, calidad, etc.) y/o fabricación (defectos retrasos, falta temporal de capacidad, etc.).

- Del mismo modo, la lista de materiales: que guía la explosión de necesidades debe responder la estructura del producto debiendo reflejar cualquier cambio realizable al mismo.

- Aunque los errores no podrán ser eliminados en su totalidad debe tenerse a su minimización, existiendo algunas medidas preventivas en ese sentido, entre ellas Cook, 1980 que intentan evitar la entrada de errores en el sistema, detectores de errores en las entradas principalmente durante la puesta al día y erradicadores que pretenden eliminar los errores que han pasado las medidas anteriores.

- Apoyo real por parte de la gerencia: que debe ir más allá del apoyo verbal y pasivo de la aprobación del presupuesto. Un signo del apoyo marcado es prioridad dada por el proyecto. Si ésta condición no se da, el sistema está abocado al fracaso.

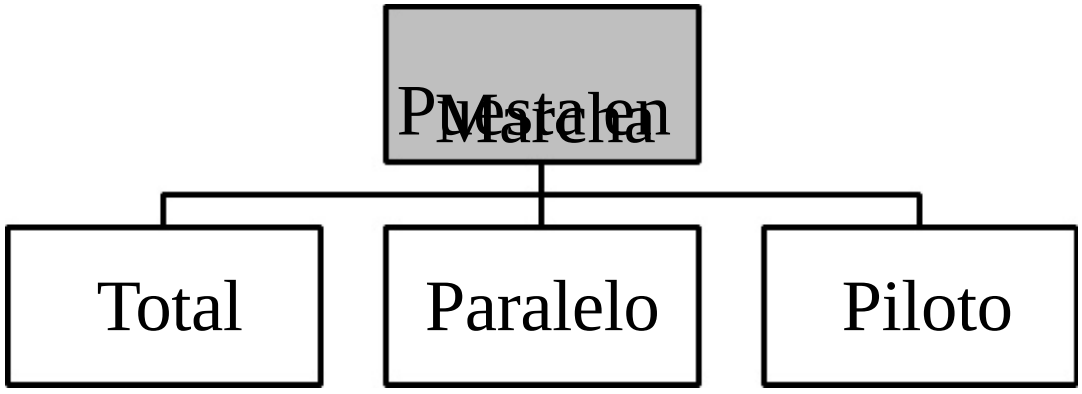
- Educación adecuada : está absolutamente probada que el éxito del sistema, está directamente relacionado con el grado de conocimiento y comprensión acerca del mismo sistema existente dentro de la empresa.

- Elaboración de un plan de puesta en marcha : que muestra las distintas tareas a llevar a cabo y resalte los aspectos críticos. Dicho plan, que deberá

ser seguido fielmente, irá incorporado los posibles cambios sucedidos durante el desarrollo del mismo.

- Formación de un equipo: dirigido por su jefe de proyecto, que se responsabilice de la puesta en marcha. Con el jefe debe participar como mínimo un analista de software y un especialista en gestión y control de materiales. Además, aunque sólo a tiempo parcial, deberá intervenir personal de fabricación, de ventas, de compras, de contabilidad y de ingeniería.

Tras haber tenido en cuenta los distintos factores mencionados, se pasará a la puesta en marcha, siendo los métodos comunes los siguientes:



1. Total: por el cual empieza a utilizarse el nuevo sistema simultáneamente se abandona el antiguo.

2. Paralelo: que mantiene los dos sistemas a la vez durante un cierto periodo de tiempo.

3. Piloto: que consiste en emplear el método paralelo en una parte pequeña de la base de datos, para una vez adquirida la experiencia en el nuevo sistema se elimine el método antiguo y amplíen otros productos.

La elección del método depende fundamentalmente del tamaño de la base de datos, de la disponibilidad de mano de obra preparada y de las diferencias entre el sistema antiguo y el nuevo. En general, es el piloto el método más recomendado.

5.1.5. Beneficios obtenidos de la aplicación del MRP.

De las aplicaciones realizadas con éxito se deducen, entre otras las siguientes ventajas:

- Disminución en los stocks, que ha llegado en algunos casos al 50%, aunque normalmente es de menor cantidad.
- Mejora del nivel de servicio al cliente, o incrementos hasta el 40%, reducción de horas extras, tiempos ociosos y contratación temporal. Ello se deriva de una mejor planificación productiva.
- Disminución de la subcontratación.
- Reducción substancial en el tiempo de obtención de la producción final.
- Incremento de la productividad.
- Menores costos.
- Aumento significativo en los beneficios.
- Mayor rapidez en la entrega y en general mejor respuesta a la demanda del mercado.
- Posibilidad de modificar rápidamente el programa maestro de producción ante cambios no previstos en la demanda.
- Mayor coordinación en la programación de producción e inventarios.
- Mayor rapidez de reprogramación en base a los posibles cambios y en función de las distintas prioridades establecidas y actualizadas previamente.
- Guía y ayuda en la planificación de la capacidad de los distintos recursos.
- Rapidez en la detección de dificultades en cumplimiento de la programación.
- Posibilidad de conocer rápidamente las consecuencias financieras de nuestra planificación.

5.1.6. Más allá del MRP.

En la actualidad los métodos informáticos en la planificación y programación tipo MRP, han significado un cambio en la dirección y gestión productiva, habiendo quedado obsoletas un gran número de técnicas tradicionales. Algún autor ha llegado a decir que la informatización de las actividades de programación e inventarios constituyen unos de los avances más significativos en el campo de la dirección de operaciones en los casi 200 años en que han venido funcionando los sistemas de fabricación.

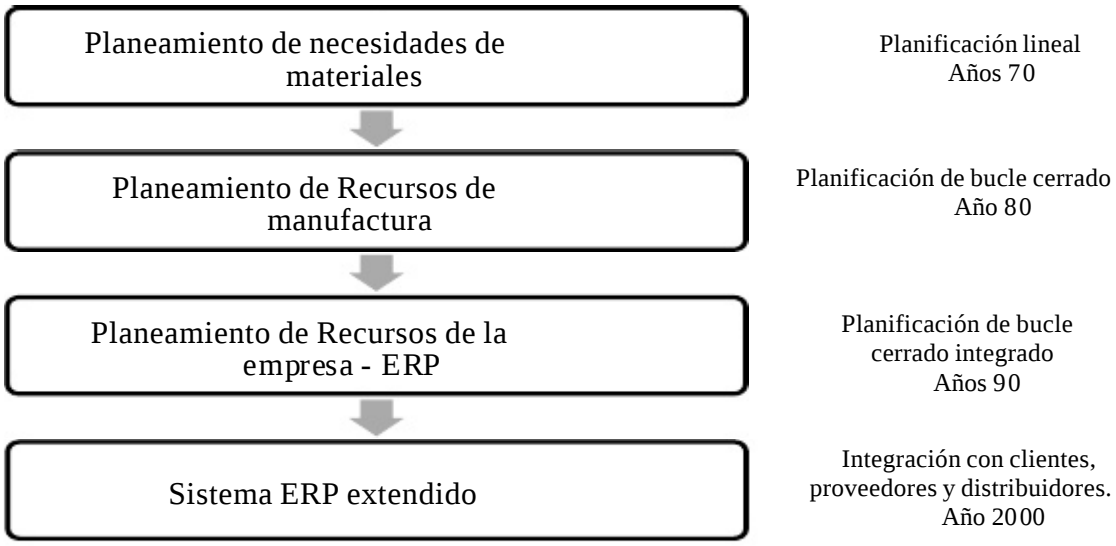
El éxito de ésta técnica ha hecho que se intente adaptar a empresas de servicios en las que se de las características necesarias para su aplicación en grado suficiente (alimentación, hospitales, servicios eléctricos). PICS se compone de ocho partes que son: previsión de ventas, datos de control de Ingeniería, control de inventarios, planificación de necesidades, compras, planificación de capacidad, programación de operaciones, control de taller.

Un sistema aun más amplio, también creado por el IBM, es el sistema de información y control de la producción orientada a la información, COPICS (Comunication Orientea Production Information and Control System), que supone una ampliación mejorada del anterior. Mediante la utilización de un conjunto de terminales que trabajan en línea se facilita la rápida comunicación de los cambios y excepciones ocurridas sobre el primitivo plan, sugiriendo qué acciones tomar permitiendo simular soluciones alternativas y ayudando al monitor a responder a los mensajes.

Finalmente, hagamos mención de que muchos estudiosos especializados consideran como elemento indispensable al MRP II, para evolucionar en la automatización de la fábrica bajo un contexto CIM (Computer Integrated Manufacturing) o fábrica del futuro.

5.2. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE LA EMPRESA (ERP).

5.2.1. Antecedentes de los sistemas ERP.



5.2.2. Definición de sistemas ERP.

Es un sistema de información orientado a identificar y planificar los recursos necesarios para que una empresa pueda tomar, producir, enviar y contabilizar todas las ordenes de los clientes en una empresa manufacturera, distribuidora o de servicio.

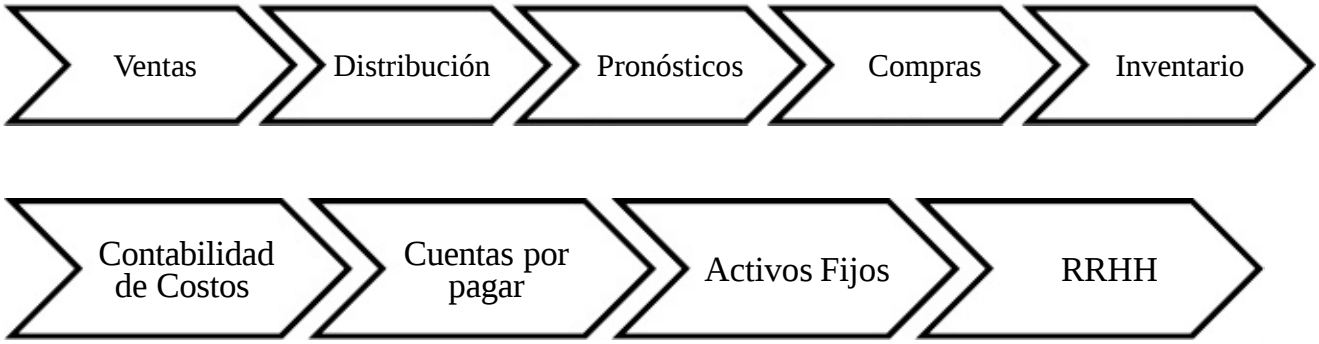
Además, permite enfocar las necesidades de la empresa tomando una visión de los procesos para conocer las metas de la organización integrándolas fuertemente con todas las funciones de la empresa.

5.2.3. Características de los sistemas ERP .

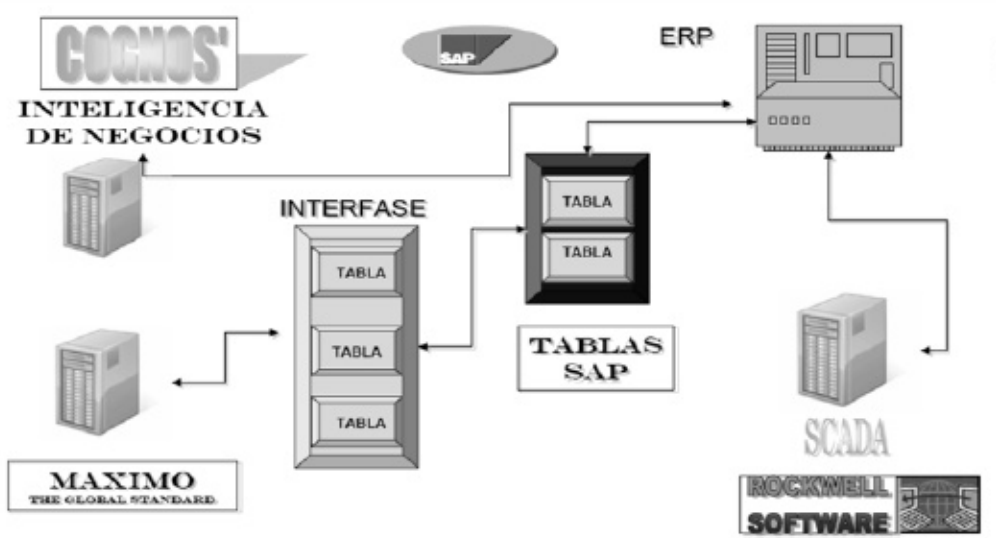
a) ERP: integración de procesos de negocios.

b) ERP: flexible y modular.

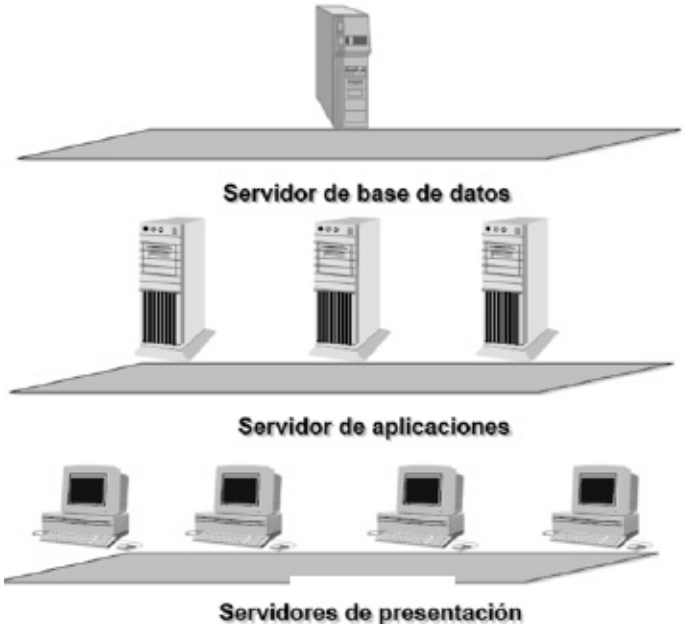
Planeamiento de la Producción	Control de la producción	Control de Calidad	Mantenimiento



c) ERP: arquitectura de negocio.



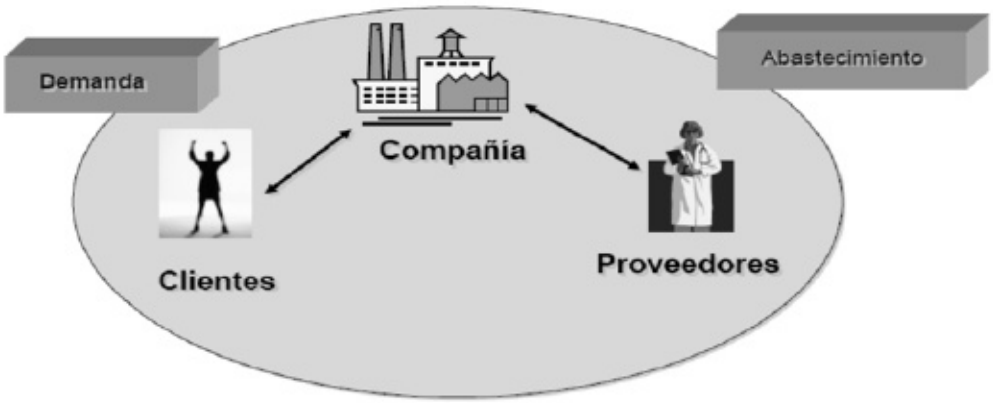
d) ERP: cliente servidor.



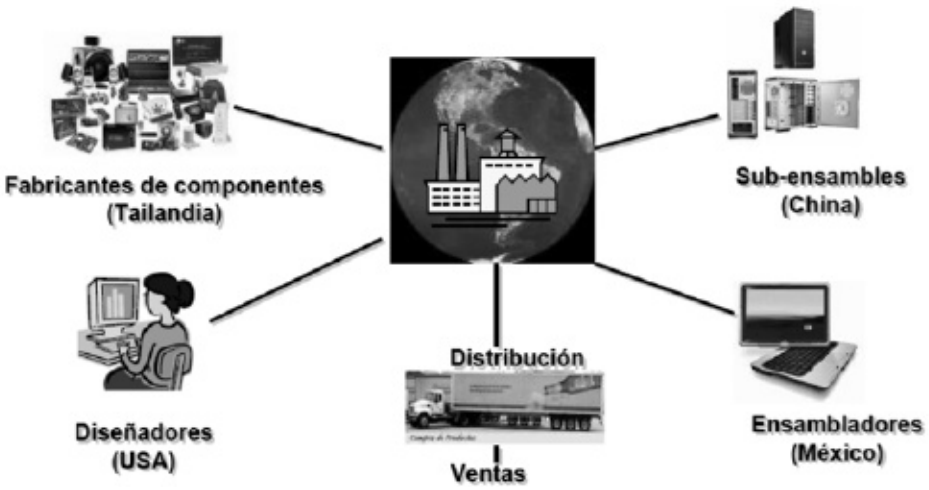
e) ERP: maneja las mejores prácticas del negocio .

- Técnica del MRP.
- Clasificación ABC.
- Conteo cíclico de inventarios.
- Niveles de control de inventarios.
- Contabilidad de costos.
- Mediciones de desempeño.
- Gestión de la calidad total (TQM).
- Mantenimiento preventivo.
- Gestión de proyectos.

f) ERP: Integración fuera de los límites de la compañía.



g) ERP: Múltiples compañías.



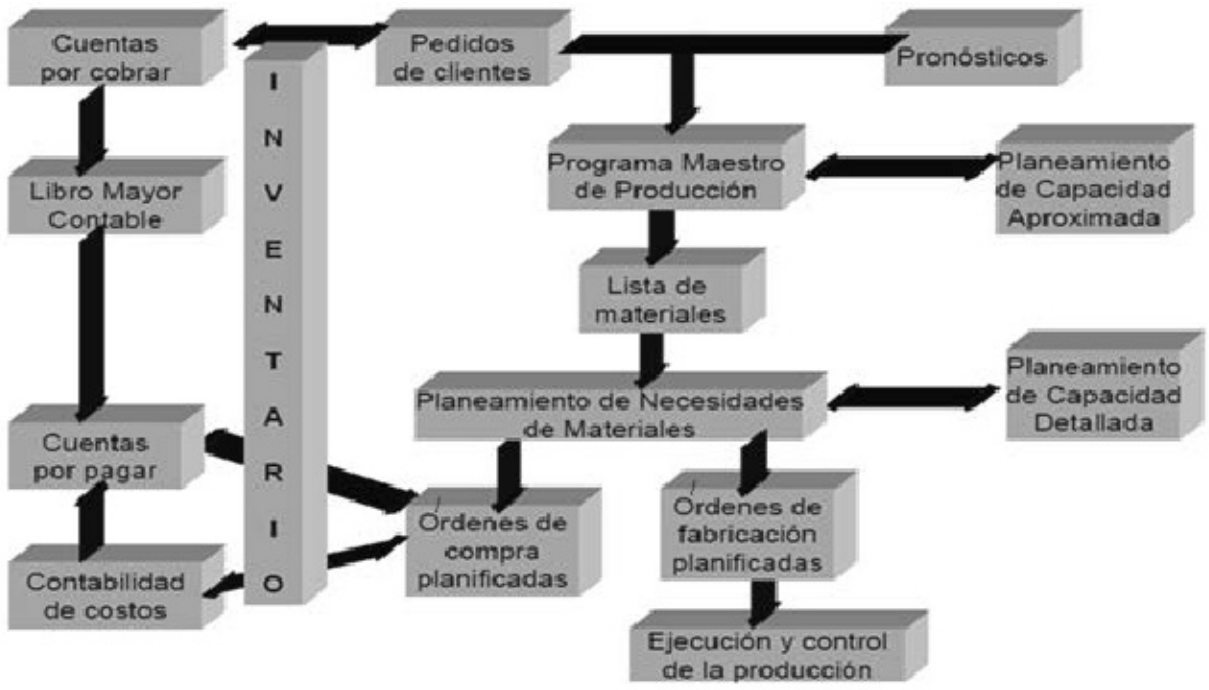
h) ERP: Soluciona problemas de gestión.

- Exactitud de inventarios.
- Mejoría de la productividad.
- Servicio al cliente.
- Optimiza usos de recursos.
- Mala calidad.
- Tiempos de entrega.
- Mejora la cadena de abastecimiento.

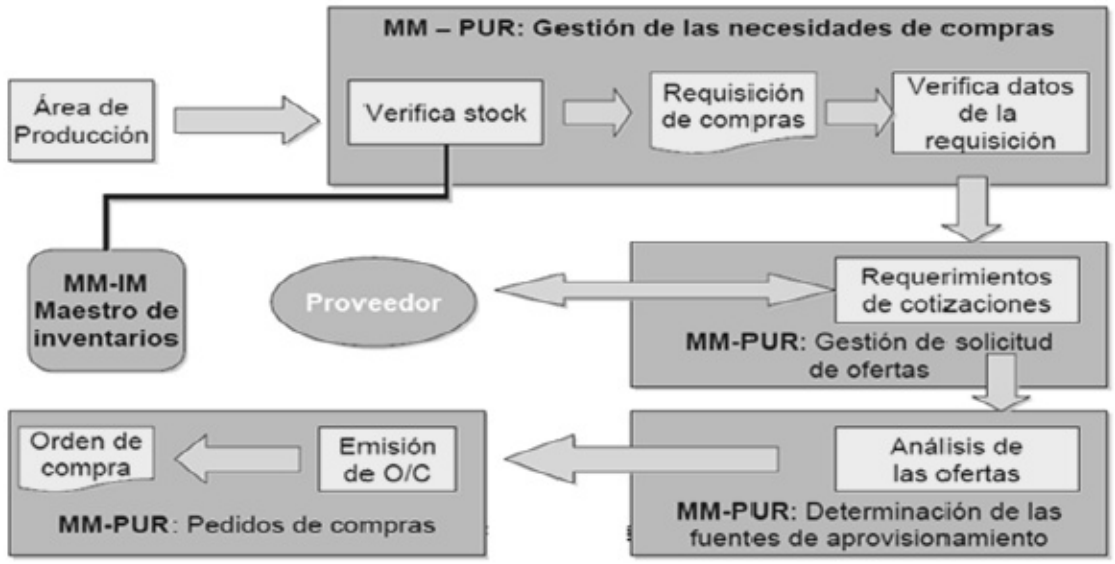
5.2.4. Funcionalidades de los sistemas ERP.

- Ventas y distribución.
- Compras.
- Inventarios.
- Planeamiento y control de la producción.
- Control de calidad.
- Finanzas y contabilidad.
- Recursos humanos.
- Mantenimiento.
- Gestión de proyectos.

ERP: Esquema funcional.



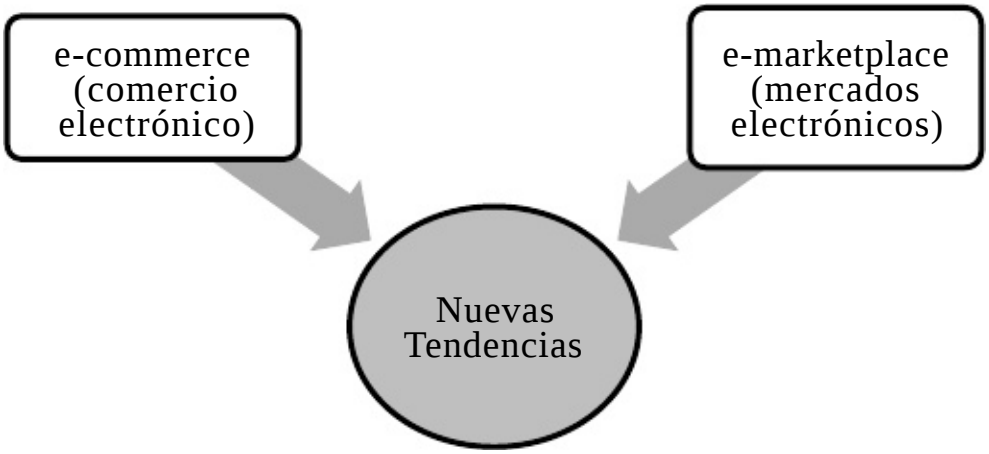
ERP: Funcionalidad del proceso de compras – SAP.


MM – PUR: Gestión de las necesidades de compras
Área de Producción
Verifica stock
Requisición de compras
Verifica datos de la requisición
MM-IM Maestro de inventarios
Proveedor
Requerimientos de cotizaciones
MM-PUR: Gestión de solicitud de ofertas
Orden de compra
Emisión de O/C
MM-PUR: Pedidos de compras
Análisis de las ofertas
MM-PUR: Determinación de las fuentes de aprovisionamiento

Proveedores de sistemas ERP.

5.2.5. ¿Cuáles son las nuevas tendencias?

Fines de los 90, el Internet creó nuevas formas de hacer negocio:



Cambiaron las prácticas de negocios con clientes, proveedores y distribuidores. Obligaron a los proveedores de sistemas ERP a realizar un desarrollo tecnológico para alargar el ciclo de vida del ERP integrando soluciones informáticas a los clientes, proveedores y distribuidores: ERP-web enabled.

5.2.6. Beneficios de sistemas ERP.

Funcionales:

- Disponibilidad de información para la toma de decisiones.
- Integración de los procesos de negocios.
- Mejora del servicio al cliente.

Tecnológicas:

- Web-enabled.
- Consolidación de información en una base de datos coherente.
- Información en tiempo real.
- Niveles de acceso y seguridad de información.
- Integración con otras herramientas de gestión.

Organizacionales:

- Creación de roles funcionales.
- Refuerza la importancia de ciertos puestos o cargos.
- Permite introducir, normalizar los procedimientos de trabajo.

5.2.7. Requerimientos para la implementación del sistema ERP.

Organizacionales:

- Apoyo y compromiso de la alta dirección.
- Formación del equipo de proyecto.
- Definición de roles y responsabilidades.
- Involucrar a los usuarios en la implementación del sistema.
- Proporcionar la infraestructura y equipamiento.

De gestión de proyectos:

- Plan de proyecto detallado y aprobado por el cliente.
- Procesos de negocios involucrados en el alcance del sistema.
- Utilizar técnicas estructuradas para la elaboración de planes estimados, cuadros y otros documentos.

· Definir los “entregables” por fase o etapa del plan de proyecto terminado.

Fases de implementación:
1. Definición del proyecto.

3. Preparación de la implementación.
3. Desarrollo y confirmación.
4. Implementación.
5. Operación del nuevo sistema.

5.3. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE DISTRIBUCIÓN (DRP).

Responde a la pregunta ¿ Cuándo y cuánto de cada ítem será necesario reponer en las próximas semanas o meses?

Ello implica realizar los siguientes pasos:
· Coordinar la reposición de ítems que vienen de la planta.
· Seleccionar eficientemente en términos de costos los modos de transporte y tamaño del envío.
· Programar el trabajo de embarque y recepción.
· Desarrollar un programa maestro de producción para cada ítem

Existen 2 niveles de DRP:

DRP I - Distribution Requirements Planning.
Aplicación de los principios del MRP I para reponer inventarios en sistemas de distribución de varios canales.
DRP II - Distribution Resource Planning.
Extensión del DRP I, incluyendo la planificación de recursos claves en los sistemas de distribución, tales como espacio de almacenes, niveles de mano de obra, capacidad de transporte y flujos financieros.

5.3.1. Requerimientos de información en el DRP.

· Pronósticos de demanda (producidos internamente) o programas de demanda (indicados por proveedores) por período de tiempo (generalmente semanal).

- Nivel actual de inventarios en cada lugar (balance on hand - BOH).
- Stock de seguridad deseado para el ítem.
- Cantidad de reposición recomendada.
- Tiempo de reposición (lead time).
- Definición de la estructura de distribución.

5.3.2. Beneficios del uso de DRP.

- Mejoría en servicio al cliente.
- Reducción global de inventarios de productos terminados.
- Reducción de costos de transporte para la reposición a centros de distribución.
- Mejoría en eficiencia de operaciones en centros de distribución.
- Mayor sinergia entre planes de producción y distribución.

5.3.3. Proceso básico del DRP.

Desarrollo de tablas DRP para ítem en cada centro de distribución y combinación de ellas para crear información que permita mejorar la utilización de los recursos de distribución y producción.

Elementos de información de la tabla DRP.
1. Centro de distribución.
2. Ítem.

Parámetros de planeamiento.
3. Inventario en mano.
4. Cantidad a reponer (lote).
5. Stock de seguridad.
6. Tiempo de entrega.
7. Escala de tiempo.
8. Demanda.
9. Recepciones programadas.
10. Inventario proyectado.
11. Órdenes planeadas.
12. Órdenes actuales.

			1.- Centro de Distribución Norte					
7.- Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
2.- Lapiceros			3.- Inv Ini=4500		5.-SS=500	6.- LT=1	4.-Q=3000	
8.-Demanda			3000	700	2500	1000	1500	500
9.-Inv Mano	4500	4500	1500	800	1300	3300	1800	1300
10.- NN					2200	200		
11.- LPP				2200	200			
12.-Orden Actual				3000	3000			

5.4. CASOS PRÁCTICOS.

A continuación se explicará el método de solución de DRP mediante el siguiente caso práctico

CASO ÚTILES “Doña Juana” SAC

La empresa ÚTILES “Doña Juana” SACse dedica a la fabricación de lapiceros y plumones, para ello cuenta con una cadena de suministros que le permite reducir costos, la cual está conformada por:

1. Planta Central ubicada en Arequipa.
2. Centro de Distribución Principal ubicado en Lima.
3. Centro de Distribución Local ubicado en el Norte y en el Oriente.

La cadena funciona de la siguiente manera: Los lapiceros y plumones son fabricados en la planta central ubicada en Arequipa, luego de terminados son enviados al centro de distribución central ubicado en Lima el cual se encarga de distribuir a los centros locales ubicados en el Norte y en el Oriente.

El objetivo principal es determinar cuándo se debe comenzar con la producción de los lapiceros y plumones para tenerlos disponibles en una fecha determinada en los centros de distribución locales.

Para dar solución a la interrogante realizaremos los cálculos de atrás hacia adelante, es decir comenzando por los centros locales del Norte y Oriente, luego se realizará el análisis del centro de distribución principal de Lima y finalmente el análisis en la planta central ubicada en Arequipa.

La información necesaria para el desarrollo se encuentra en el siguiente formato, así como la solución del caso.

OBSERVACIÓN.
Cuando se requiera realizar un problema de DRP se debe empezar por el último cuadro, es decir por el requerimiento final, para luego pasar a los cuadros que anteceden a este, es decir requerimiento intermedio, para finalmente llegar al cuadro inicial, es decir el requerimiento inicial. Como se puede apreciar existe un efecto de latigo, que permite observar toda la cadena de suministros.

El objetivo principal es determinar en base a los requerimientos finales, cuándo realizar el pedido inicial.

Centro de Distribución Norte

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Lapiceros			Inv Ini=4500		SS=500	LT=1	Q=3000	
Demanda								
Inv Mano								
NN								
LPP								
Orden Actual								
Plumones			Inv Ini=2500		SS=300	LT=1	Q=1800	
Demanda								
Inv Mano								
NN								
LPP								
Orden Actual								

Total de cajas de los productos zona Norte - Centro de Distribución Lima

Recibidos								
Ordenados								

Centro de Distribución Oriente

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Lapiceros			Inv Ini=3500		SS=1000	LT=1	Q=2500	
Demanda								
Inv Mano								
NN								
LPP								
Orden Actual								
Plumones			Inv Ini=3000		SS=400	LT=1	Q=1500	
Demanda								
Inv Mano								
NN								
LPP								
Orden Actual								

Total de cajas de los productos zona Oriente - Centro Distribución Lima

Recibidos								
Ordenados								

Requerimientos zona Norte y Oriente

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Norte			Inv Ini=4500		SS=500	LT=1	Q=3000	
Demanda								
Inv Mano								
NN								
LPP								
Orden Actual								
Oriente			Inv Ini=3500		SS=1000	LT=1	Q=2500	
Demanda								
Inv Mano								
NN								
LPP								
Orden Actual								

Total de cajas de los productos Lapiceros zona Norte-Oriente - Centro Distribución Lima

Recibidos								
Ordenados								

Planta central de Arequipa

			Inv Ini=4000	SS=100	TS=1	Qprod=3000	LT=1	
Requer Brutos								
Inv Mano								
NN								
Despacho								
PMP								

Centro de Distribución Norte

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Lapiceros			Inv Ini=4500		SS=500	LT=1	Q=3000	
Demanda			3000	700	2500	1000	1500	500
Inv Mano	4500	4500	1500	800	1300	3300	1800	1300
NN					2200	200		
LPP				2200	200			
Orden Actual				3000	3000			
Plumones			Inv Ini=2500		SS=300	LT=1	Q=1800	
Demanda			500	700	2500	1000	2000	400
Inv Mano	2500	2500	2000	1300	600	1400	1200	800
NN					1500	700	900	
LPP				1500	700	900		
Orden Actual				1800	1800	1800		

Total de cajas de los productos zona Norte - Centro de Distribución Lima

Recibidos				4800	4800	1800		
Ordenados			4800	4800	1800			

Centro de Distribución Oriente

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Lapiceros			Inv Ini=3500		SS=1000	LT=1	Q=2500	
Demanda			2500	700	2500	1000	1500	500
Inv Mano	3500	3500	1000	1800	1800	3300	1800	1300
NN				700	1700	800		
LPP			700	1700	800			
Orden Actual			2500	2500	2500			
Plumones			Inv Ini=3000		SS=400	LT=1	Q=1500	
Demanda			2500	700	2500	1000	2000	600
Inv Mano	3000	3000	500	1300	400	900	400	
NN				600	1600	1000	1500	600
LPP			600	1600	1000	1500	600	
Orden Actual			1500	1600	1500	1500	1500	

Total de cajas de los productos zona Oriente - Centro Distribución Lima

Recibidos			4000	4100	4000	1500	1500	
Ordenados		4000	4100	4000	1500	1500		

Requerimientos zona Norte y Oriente

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Norte			Inv Ini=4500		SS=500	LT=1	Q=3000	
Demanda			3000	700	2500	1000	1500	500
Inv Mano			1500	800	1300	3300	1800	1300
NN					2200	200		
LPP				2200	200			
Orden Actual				3000	3000			
Oriente			Inv Ini=3500		SS=1000	LT=1	Q=2500	
Demanda			2500	700	2500	1000	1500	500
Inv Mano			1000	1800	1800	3300	1800	1300
NN				700	1700	800		
LPP			700	1700	800			
Orden Actual			2500	2500	2500			

Total de cajas de los productos Lapiceros zona Norte Oriente - Centro Distribución Lima

Recibidos			2500	5500	5500			
Ordenados		2500	5500	5500				

Planta central de Arequipa

			Inv Ini=4000	SS=100	TS=1	Qprod=3000	LT=1	
Requer Bruto	2500	5500	5500					
Inv Mano	1500	2000	2500	2500	2500	2500	2500	2500
NN		4100	3600					
Despacho		6000	6000					
PMP	6000	6000						

CAPÍTULO 6. FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC)

En el año 1984 se publicó el libro “La Meta” escrita por Eliyahu M. Goldrant, en este libro se presentó una metodología que revolucionó la manera de mejorar y administrar los procesos de producción, esta filosofía de gestión, denominada teoría de restricciones o administración de restricciones, está basada en la identificación de las restricciones en el sistema de producción con el objetivo de incrementar las utilidades.

6.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.

El concepto fundamental en que descansa la teoría de restricciones (en cuanto a su impacto sobre la planificación y el control), es que toda planificación hacia la generación de un producto o servicio consiste, básicamente, de una serie de procesos vinculados. Cada proceso tiene una capacidad específica para generar una producción determinada por la operación, y en casi todos los casos existe un proceso que limita o restringe el rendimiento de la operación completa.

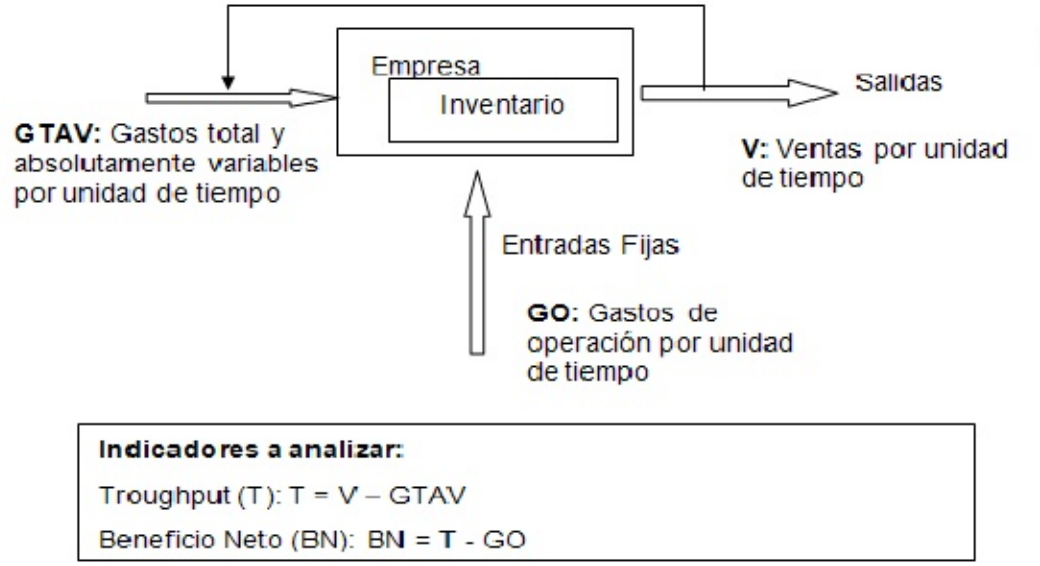
Muchas veces se utiliza la analogía de que la producción que atraviesa el proceso operativo es igual a un líquido que fluye a través de una tubería. Cada proceso tiene una capacidad definida representada en la analogía por el diámetro de la tubería asociada, si su diámetro es más grande tendrá mayor capacidad para procesar la producción, mientras más pequeño sea el diámetro su capacidad será limitada. Como el diámetro es menor y esto es limitante, en un proceso dicho limitante determinará el comportamiento de los procesos restantes.

Una restricción es, en términos generales, cualquier factor que limita a la compañía para alcanzar su objetivo. En el caso de casi todas las empresas, ese objetivo es hacer dinero, lo que se manifiesta en un incremento del rendimiento lo cual se logra gracias a las ventas, no sólo a la producción.

Si la empresa es un sistema: ¿Cómo genera valor?
Una empresa se compone de sectores (o partes) que interactúan, si cada sector busca su máxima eficiencia ¿lograremos el mejor desempeño del conjunto?, la respuesta es NO, perseguir eficiencia en todas las partes de un sistema, no da

como resultado una mejora global del mismo, en general lo empeora y si se persevera puede llegar a destruirla.

En el siguiente gráfico se pude apreciar cómo se genera valor en una empresa:


Empresa
Inventario
Salidas
GTAV: Gastos total y absolutamente variables por unidad de tiempo
V: Ventas por unidad de tiempo
Entradas Fijas
GO: Gastos de operación por unidad de tiempo

Indicadores a analizar:

Troughput (T): T = V – GTAV

Beneficio Neto (BN): BN = T - GO

Del cuadro anterior se llega a las siguientes conclusiones:

- Si no liberamos Troughput, no generamos valor.
- Si fabricamos productos para stock, no estamos generando valor, ya que no liberamos Troughput en todo el sistema.

Las implicaciones de este método van mucho más allá de cómo se concibe el proceso; hasta los sistemas contables se ven afectados, por ejemplo:

- Muchos sistemas contables asignan los costos generales a los productos con base en las horas de mano de obra directa que se utiliza en la producción, tales sistemas pueden dar la impresión de que producir más unidades ayudará a pagar los gastos generales, por desgracia si las unidades adicionales fabricadas no están vinculadas con las ventas reales, el resultado será solamente más inventario costoso y un impacto negativo general sobre el negocio.

Los principios de la TOC señalan que:

- Solo las ventas deben contar como rendimiento operacional.
- Casi todos los sistemas contables tradicionales consideran la mano de obra de directa como un costo variable; por otro lado, los principios de la TOC afirman que en un corto plazo todos los costos operacionales excepto de los de materia

prima directa, son fijos en su mayor parte y por lo tanto, se aglutinan en el gasto operativo general. Uno de los puntos claves de este ejemplo es que los productos en realidad no tienen una utilidad, pero las compañías sí.

En conclusión

Esta afirmación nos ayuda a ver la operación más como un sistema, y no sólo como un conjunto de funciones independientes. Éste es uno de los conceptos fundamentales de la administración mediante los principios de TOC.

.

6.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE TOC.

Se han desarrollado varios lineamientos fundamentales para entender los principios de la TOC y la forma de administrar un proceso mediante la identificación de restricciones. Algunos de los lineamentos más sobresalientes son los siguientes:

- El desempeño óptimo de un sistema no equivale a la suma de los óptimos locales. Cuando se dice que un sistema se está desempeñando tan bien como le es posible, por lo general significará que no más de una parte del sistema se está desempeñando en un nivel óptimo. Si todas las partes del sistema se están desempeñando en un nivel óptimo, es probable que el sistema como un todo no lo haga. En otras palabras, es prácticamente imposible obtener un balance perfecto en el sistema. Aunque éste haya sido diseñado para obtener un balance perfecto, las variaciones normales en el desempeño provocarán, inevitablemente, algún grado de inestabilidad.

- Los sistemas son como cadenas conformados por eslabones. Todos los sistemas tienen “un eslabón más débil”, que mediante esta filosofía es conocida como una restricción que limita el desempeño del sistema integral.

- Para determinar qué debe cambiar es necesario comprender a cabalidad el sistema y su objetivo. Al implementar la TOC, muchas veces el objetivo del sistema es obtener dinero a partir de las ventas, no mediante la producción. La producción terminada que no se vende (es decir fabricar y almacenar en el inventario) no contribuye al objetivo de la compañía.

- Los efectos indeseables en el sistema son resultado de una no identificación y no eliminación de los problemas centrales. Resolver el síntoma de un problema no suele remediar las cosas. Si el problema central persiste, es probable que el síntoma (u otro asociado a él) reaparezca muy pronto. A largo plazo, la eliminación real del efecto indeseable ocurrirá si el problema central se identifica y resuelve.

- La eliminación de los problemas que no son centrales solo brindará una mejora a corto plazo. Trabajar sobre los problemas (que, en realidad, muchas veces son síntomas) sin encontrar la causa raíz, tiende a proporcionar las mejoras de corta duración. Por otro lado, al eliminar el problema central generalmente se eliminan también todos los efectos indeseables asociados a él.

- Las restricciones del sistema pueden ser restricciones físicas o restricciones de políticas. En términos generales, las restricciones de políticas son más difíciles de encontrar y eliminar. Sin embargo la eliminación, de una restricción de este tipo a menudo proporciona una mejora más pronunciada en el sistema.

- Las ideas no son soluciones. La generación de ideas puede ser benéfica, pero es necesaria desarrollarlas para convertirlas en una solución e implementarlas por completo.

- La utilización de una operación que evita los cuellos de botella debe ser usada como un soporte para la línea principal, que sí es afectada por el cuello de botella. Las operaciones que evitan los cuellos de botella, no restringen la producción del sistema. Por lo tanto, estos recursos deben ser manejados de manera que proporcionen el máximo apoyo a los recursos restrictivos. La eficiencia y utilización de estos recursos no se considera tan importantes para el bien del sistema, pero sí como un soporte para el mismo.

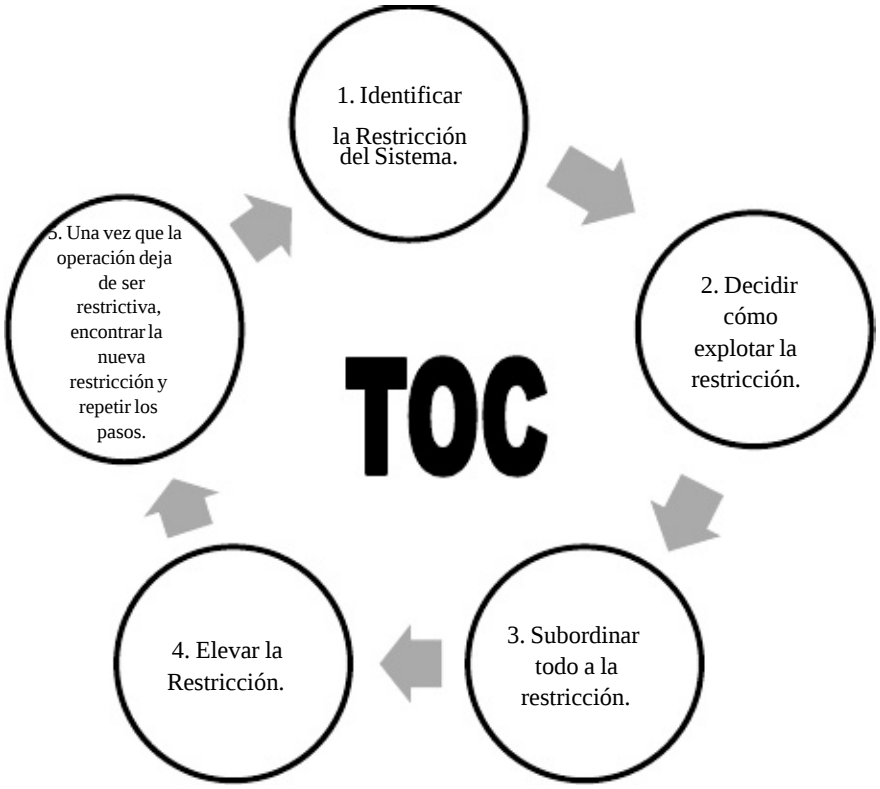
- No es lo mismo utilizar una operación que activarla. En el concepto TOC, una operación se considera activada solo cuando proporciona un beneficio para el sistema total en función de generar más producción, la operación puede utilizarse, o producir material innecesario, pero eso no siempre ayuda al sistema total.

- Una hora perdida en una operación restrictiva es una hora perdida para el rendimiento del proceso completo. Esto debido a que como se mencionó antes el cuello de botella determina la capacidad del proceso completo.

- No es preciso que los lotes de transferencia tengan el mismo tamaño que los lotes del proceso (por lo general no deben tenerlo). Los lotes de proceso para restricciones deben ser de un tamaño que maximice la utilización eficaz del proceso (es decir un tamaño que minimice los tiempos inactivos). Los lotes del proceso en operaciones no restrictivas no son tan determinantes. En cuanto a los lotes de transferencia (la cantidad de material desplazado), a menudo pueden ser más pequeños para maximizar el rendimiento y minimizar los inventarios de proceso.

6.3. MEJORA DE LOS PROCESOS MEDIANTE LOS PRINCIPIOS DE TOC.

Si un método TOC se considera apropiado para ayudar a mejorar un sistema de negocio, se recomienda seguir un procedimiento de 5 pasos para implementarlo, el cual es conocido como el Proceso de Focalización. Los cinco pasos se resume a continuación:


1. Identificar la Restricción del Sistema.
2. Decidir cómo explotar la restricción.
3. Subordinar todo a la restricción.
4. Elevar la Restricción.
5. Una vez que la operación deja de ser restrictiva, encontrar la nueva restricción y repetir los pasos.
TOC

1. Identificar la restricción del sistema.Esto implica la necesidad de analizar el proceso completo para determinar qué proceso limita el rendimiento. Es necesario tener presente que una restricción limita el rendimiento respecto a las ventas generales del negocio, no solo en relación con la producción en inventario.
2. Decidir como explotar la restricción.Esto se refiere a encontrar métodos para maximizar la utilización de la restricción con el objetivo de obtener un rendimiento productivo. Por ejemplo, en muchas operaciones los procesos se detienen por completo durante la hora de almuerzo o los descansos. Si un proceso es restrictivo la operación debe considerar la rotación de los periodos de almuerzo de manera que nunca se permita que la restricción esté inactiva. Suponga por ejemplo, que cierto proceso de una operación representa una clara y gran restricción. Imagine también que actualmente hay 7 horas productivas por cada turno de ocho horas (30 minutos se toman para el almuerzo y se dan 2 descansos de 15 minutos cada uno). Si suponemos que varios trabajadores pueden operar el proceso (o que es posible capacitarlos para ello), podrían intercalarse los horarios de almuerzo y de descanso solo para este proceso, lo que le permitirá operar las ocho horas completas. En tal caso el negocio añadiría una hora productiva por turno, sin la adición de otro tipo de recursos.
3. Subordinar todo a la restricción. La utilización efectiva de la restricción es lo más importante. Todo lo demás es secundario.
4. Elevar la restricción. Esto significa esencialmente encontrar formas de incrementar las horas disponibles de la restricción, incluye su propio aumento.
5. Una vez que la operación deja de ser restrictiva, encontrar la nueva restricción y repetir los pasos. Al incrementarse la utilización eficaz de la operación restrictiva, ésta puede dejar de ser una restricción, pero aparecerá otra a lo largo del proceso. En este caso el interés debe desplazarse hacia la nueva restricción. También es posible (y casi seguro en muchos negocios) que un cambio relacionado con las ventas en la mezcla de producto ocasione que un proceso diferente se convierta en una restricción.

Notas sobre los cinco pasos.

i. Los dos primeros 2 pasos constituyen en realidad un método para vincular de manera flexible los parámetros de medición (incluyendo los de rendimiento y utilización) a la logística del sistema.

ii. El tercer paso, como descubriremos en la selección de programación con TOC, en realidad se logra mediante:
   - La liberación de material en el centro de enlace (primer procesamiento, a una tasa que mantendrá la restricción ocupada.
   - La asignación de prioridades a las tareas no restrictivas, con base exclusivamente en las necesidades de la restricción.

iii. El concepto de explotar en realidad implica obtener lo más posible de las fuentes restrictivas exigentes. La TOC sugiere que la explotación debe maximizarse antes de gastar dinero adicional en adquirir una mayor cantidad del recurso restrictivo.

iv. El quinto paso en realidad es una advertencia para realizar una verificación continua que asegure que la restricción no se ha desplazado. La explotación efectiva de las restricciones existentes y un desplazamiento en la mezcla de producto son ejemplos de eventos que pueden provocar que la restricción se desplace.

Una vez que se haya comprendido estos cinco pasos, sería útil considerar que no en todos los entornos de negocio es posible implementar con facilidad el método TOC. Por ejemplo, si una operación tiene una mezcla de producto muy volátil debido a que su clientela modifica constantemente sus pedidos para una gran variedad de productos, es posible que la restricción también sea muy volátil. En un momento determinado la mezcla de requerimientos de un proceso quizá señale hacia una restricción, mientras que en otro momento la mezcla puede crear una restricción completamente diferente. Si el desplazamiento ocurre con frecuencia, tal vez haya poca oportunidad de aplicar los métodos de TOC antes de que la restricción se desplace hacia otro punto del proceso.

6.4. TIPOS GENERALES DE FACTORES RESTRICTIVOS.

Las fuentes de restricción se pueden clasificar de varias maneras. La más común es la que las divide en restricciones políticas, restricciones de capacidad y restricciones de marketing.

POLÍTICAS.

- Las políticas de fijación de precios, que pueden afectar la demanda.
- El enfoque incorrecto en la comisión de ventas (vender el producto equivocado).
- Medidas de producción que inhiben el buen desempeño de la producción.
- Políticas de personal que promueven el conflicto entre las personas o áreas de producción.

CAPACIDAD.

- Políticas de inversión, incluyendo métodos de justificación, horizonte de planificación y disponibilidad de fondos.
- Políticas de recursos humanos.
- Regulaciones gubernamentales.
- Sistemas tradicionales de medición.
- Procesos de desarrollo de productos.

RESTRICCIONES DE MARKETING.

- Políticas de "nicho" de producto.
- Sistemas de distribución.
- Capacidad percibida contra demanda real.

6.5. LOGÍSTICA Y LA TOC.

La logística implica el movimiento físico del material a los largo del proceso de producción. La teoría de restricciones dedica algunos puntos específicos a la logística, e incluye ciertos métodos para hacer eficiente el desplazamiento. En general, la TOC resalta dos características esenciales de todo sistema de logística:

- Casi todos los sistemas están compuestos por una serie de eventos dependientes, una sucesión de pasos específicos que deben seguirse en el orden apropiado para completar un trabajo. Esto implica que cualquier demora en una etapa inicial del proceso podrá afectar de manera negativa sus últimas etapas.
- Casi todas las actividades presentan fluctuaciones estadísticas inherentes a su operación. Esto implica que los tiempos de actividad no son deterministas, y que existirán desviaciones de la media. El método TOC, sugiere que son estas

fluctuaciones estadísticas las que hacen imprácticos los métodos tradicionales de balance de la línea de ensamblaje.

Suelen citarse tres razones para justificar las disminuciones de rendimiento, mismas que una vez más se enfocan en la restricción del sistema. Las tres razones se explican a continuación, junto con el método que se acostumbra sugerir para minimizar o eliminar la posible pérdida de rendimiento:

1. La restricción está "rota". Existen muchas razones por las que una restricción pudiera ser inoperante, pero éstas no son tan importantes como el hecho de que la restricción inactiva no se puede utilizar para producir. Como no existen excesos de capacidad en una restricción, la pérdida de capacidad producirá directamente una pérdida en el rendimiento de la empresa como un todo.

   SOLUCIÓN: una solución importante para este problema potencial es la implementación de un buen plan de mantenimiento preventivo. Tal plan debe ser programado y administrado cuidadosamente, ya que también él representa un uso de la capacidad de la restricción. En general, esta situación es compatible con un principio básico de mantenimiento: cuanto más alto sea el costo de una avería no programada en un proceso, más importante será implementar un programa de mantenimiento preventivo bien diseñado. Éste es el mismo problema básico que encontramos en los sistemas de producción esbelta, si no hay suficiente inventario en el sistema. Los procesos tienden a relacionarse estrechamente, y la pérdida de alguna operación perjudica la velocidad del sistema completo.

2. La restricción está "hambrienta". Se dice que la restricción está "hambrienta", cuando el proceso anterior no dejó inventario disponible para que la restricción trabaje con él. La restricción es capaz de generar producción, pero no puede hacerlo sin material con que trabajar.

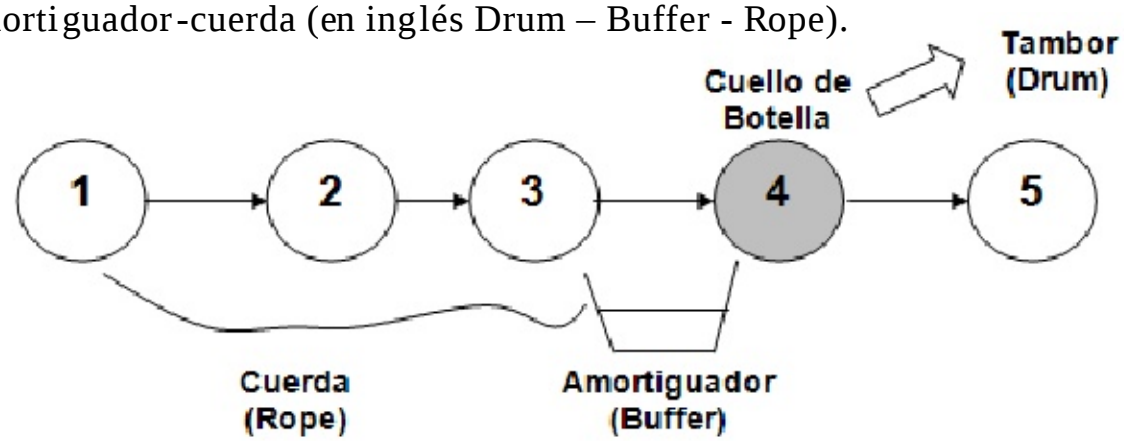
   SOLUCIÓN:la solución a este problema consiste en usar un respaldo al frente de la restricción. El respaldo consistirá en el inventario liberado en las primeras etapas del sistema, pero en realidad puede considerársele un respaldo de "tiempo", por las razones que se explican en la sección de programación que se presenta más adelante.

3. La restricción está “bloqueada”. En esta condición, la restricción está disponible y existe material para trabajar, pero no hay espacio físico en donde colocar las unidades terminadas.

SOLUCIÓN: la solución a este problema potencial radica en tener un espacio de respaldo disponible después de la restricción, en el cual se pueda colocar la producción generada por la operación restrictiva.

6.6. PROGRAMACIÓN Y LA TOC.

El sistema de programación desarrollado por la teoría de restricciones tiene su propio método específico, dicho método suele denominarse como tambor-amortiguador-cuerda (en inglés Drum – Buffer - Rope).



- Tambor: el tambor del sistema se refiere al “ritmo de tambor” o “ritmo de producción”. Representa el programa maestro para la operación, el cual se enfoca alrededor de la tasa de rendimiento que define la restricción. En otros términos, el tambor simplemente puede ser considerado como el programa de trabajo de la restricción de la organización. Con el propósito de que la organización aproveche por completo su conocimiento, debe darse por sentado que todas las funciones no restrictivas comprenden este programa de “ritmo de tambor” y le brindan su apoyo total.
- Amortiguador: dada la importancia de evitar que una restricción esté “hambrienta” por falta de inventario, muchas veces se establece antes de ella un amortiguador de “tiempo”. Se denomina amortiguador de tiempo, debido a que representa la cantidad de tiempo que el material es liberado dentro del sistema antes del tiempo de rendimiento normal mínimo para alcanzar la

restricción. La idea es proteger al sistema contra variaciones normales y, por lo tanto, evitar que la restricción sufra perturbaciones o escasez de material .

A pesar de que el amortiguador se manifiesta como inventario liberado en el sistema antes del tiempo de procesamiento mínimo, la mezcla producto de dicho material puede ser muy diferente según el programa. Como el amortiguador no se basa en inventario especifico de productos ni en componentes particulares, por lo general se le denomina amortiguador de tiempo. Ésta es una diferencia clave en el uso conceptual de un amortiguador de tiempo en lugar de un amortiguador de inventario: el amortiguador de tiempo tiende a ser bastante inmune a las variaciones en la mezcla de producto.

- Cuerda: este término se debe a una analogía: la cuerda "jala" la producción hacia la restricción para que se realice el procesamiento necesario. Es decir que mediante la cuerda se guarda toda la producción de las operaciones anteriores al cuello de botella en el Buffer (amortiguador) con el objetivo de que éste se convierta en un "stock de seguridad" y el sistema no se vea afectado por el cuello de botella.

Principales pasos en el uso del método tambor- amortiguador- cuerda.

Los siguientes pasos generalmente se presentan como un resumen de la utilización del método tambor-amortiguador-cuerda para planificar y controlar una operación:

1. Identificar la restricción en la operación.
2. Analizar las opciones y seleccionar el método preferible para explotar la restricción.
3. Desarrollar un diagrama de Gantt para la operación de restricción.
4. Calcular el tamaño apropiado de los amortiguadores (de envío, de ensamblaje y de restricción) con base en el tiempo necesario para trasladar el material de la operación a esas áreas de respaldo.
5. Desarrollar un programa de liberación de materia prima para apoyar el plan de restricciones, y también la liberación de ensamblajes de otras partes no restrictivas, en especial para la manufactura de partes restrictivas.
6. Determinar la fecha de envío de producto. En el caso de los productos que no utilizan la restricción, las fechas de envío suelen basarse únicamente en la

solicitud del cliente. El principal problema en este sentido es no cargar las áreas no restrictivas hasta el punto en que puedan convertirse en restricciones temporales.

7. En cuanto a los centros de trabajo que no han sido identificados como punto de control, el trabajo se puede volver a realizar tan pronto como haya disponibilidad.

6.7. CASOS PRÁCTICOS.

PROBLEMA 1.

TECNOFIL fabrica un producto de acero a partir de las materias primas (cable de acero de carbono), y después se procesa en secuencia a través de cinco operaciones con las máquinas de A hasta E, respectivamente (vea la siguiente tabla). Es el único uso de las cinco máquinas. Las tasas por hora de cada máquina se presentan en la tabla.

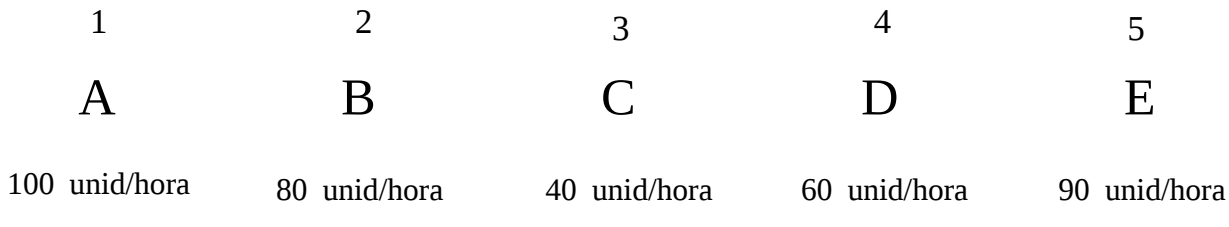
Operación	1	2	3	4	5
Máquina	A	B	C	D	E
Tasa de producción unitaria por hora	100	80	40	60	90

Responda las siguientes preguntas:

a. ¿Cuál es la producción máxima por hora del producto de acero?
b. ¿En cuánto mejoraría la producción, si B se aumentara a 90?
c. ¿En cuánto mejoraría la producción, si C se aumentara a 50?
d. ¿En cuánto mejoraría la producción, si C se aumentara a 70?
e. ¿Cómo afecta al sistema, si la máquina A sólo puede manejar una producción de 90 en una hora?
f. ¿Cómo afecta al sistema, si la máquina C sólo puede manejar una producción de 30 en una hora?

Solución:

a. Veamos el proceso en una gráfico.



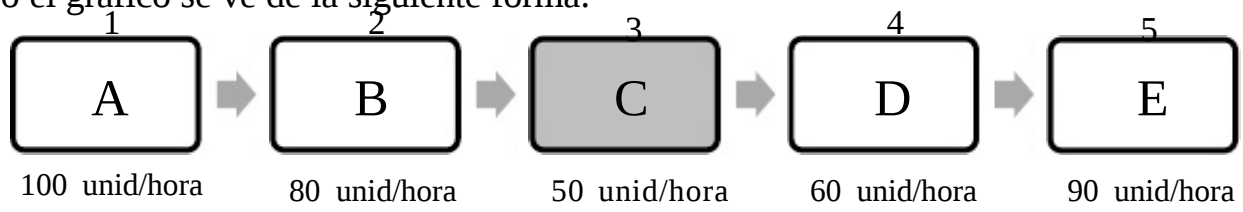
La producción máxima está determinada por el cuello de botella, en este caso el cuello de botella es la operación 3 (Máquina 3) ya que presenta la menor produccion por hora y por tanto retrasa al resto generando que todas las otras máquinas vayan a su compás.

Por lo tanto la Producción máxima es igual a 40 unidades/hora.

b. Si B aumentara a 90 la producción máxima seguiría siendo la misma, ya que la Máquina C seguirá siendo el cuello de botella.

Por lo tanto la Producción máxima es igual a 40 unidades/hora.

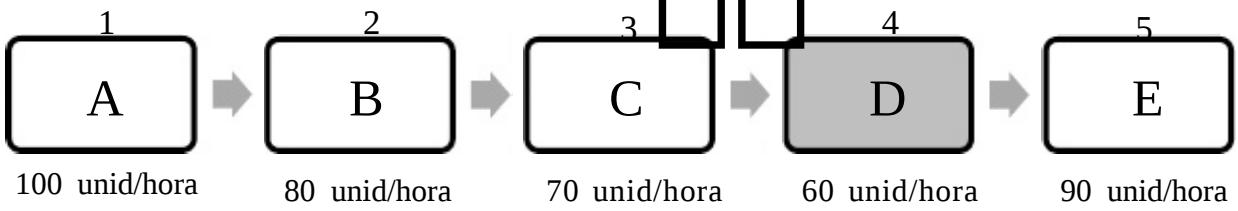
c. Si C aumentara a 50,el cuello de botella seguiría siendo la Máquina C, en este caso el gráfico se ve de la siguiente forma:



La Producción Máxima es igual a 50 unidades/hora.

La producción mejorará en $\frac{50-40}{40} \times 100\% =$ %

d. Si C aumentara a 70, ocurre lo siguiente:



El nuevo cuello de botella sería la máquina D debido a que ahora presenta la menor producción por hora, por lo tanto la Producción Máxima es igual a 60 unidades/hora.

La produccion mejorará en $\frac{60-40}{40} \times 100\% =$ %

g. ¿Cuáles son ahora las restricciones?

Solución:

a)

		Consumo (minutos)			$	
Prod. (unid)	Ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
90	M	900	-	900	4500	4500
100	N	500	1000	500	4000	8500
	TOTAL	1400	1000	1400		

Ganancia Neta M = 110-20-40 = $50.

Ganancia Neta N = 100-40-20 = $40.

Entonces los Volúmenes de Producción para maximizar las utilidades son:
90 unidades para M y 100 unidades para N.
La capacidad no es una restricción y la Máxima utilidad es de $8500.

b) La restricción inicial según el cuadro anterior es la Demanda.
Calculo de Máximas utilidades sin restricción de la demanda actual pero sí de los recursos:

i) Maximizando el Producto M.

		Consumo (minutos)			$	
Prod. (unid)	Ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
240	M	2400	-	2400	12000	12000
0	N	-	-	-	0	12000
	TOTAL	2400	0	2400		

ii) Maximizando el Producto N.

		Consumo (minutos)			$	
Prod. (unid)	ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
240	N	1200	2400	1200	9600	9600
120	M	1200	-	1200	6000	15600
	TOTAL	2400	2400	2400		

La máxima utilidad se da con la combinación de 240 unidades de N y 120 unidades de M. Las restricciones serian los recursos A, B, C (recurso de capacidad restringida).

c) Incrementando la demanda, conviene el producto M hasta que se aproveche al máximo la restricción del recurso B, luego conviene el Producto N.

Ejemplo: Aumentamos 30 unidades de demanda para cada producto:

i) Aumento de la demanda del producto N (se mantiene M).

		Consumo (minutos)			$	
Prod (unid)	ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
130	N	650	1300	650	5200	5200
90	M	900	-	900	4500	9700
	TOTAL	1550	1300	1550		

ii) Aumento de la demanda del producto M (se mantiene N).

		Consumo (minutos)			$	
Prod (unid)	ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
120	M	1200	-	1200	6000	6000
100	N	500	1000	500	4000	10000
	TOTAL	1700	1000	1700		

En este conviene el producto M.

d) Aumento de la demanda de los productos M y N.
Demanda de M = 190.
Demanda de N = 200.

i) Prioridad al producto M.

		Consumo (minutos)			$	
Prod (unid)	ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
190	M	1900	-	1900	9500	9500
100	N	500	1000	500	4000	13500
	TOTAL	2400	1000	2400		

ii) Prioridad al producto N.

		Consumo (minutos)			$	
Prod (unid)	ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
200	N	1000	2000	1000	8000	8000
140	M	1400	-	1400	7000	15000
	TOTAL	2400	2000	2400		

Restricción los recursos A y C.
La mejor combinación es 200 unidades de N y 140 unidades de M.

e) Las Restricciones son:
Los Recursos A y C (capacidad restringida). Restricción en el sistema – empresa.

f) Disponibilidad de los recursos:
A = 3000 minutos. C = 3000 minutos. Demanda: M = 190 y N = 200.

		Consumo (minutos)			$	
Prod (unid)	Ítem	Recurso A	Recurso B	Recurso C	Utilidad	Acumulado
190	M	1900	-	1900	9500	9500
200	N	1000	2000	1000	8000	17500
	TOTAL	2900	2000	2900		

La máxima utilidad se logra cumpliendo la demanda.

g) Mi restricción es la Demanda:
Sobran 100 minutos de A y C. Sobran 400 minutos de B.

Entonces:
- De M puedo producir hasta 10 unidades más (recurso A y C).
- De N puedo producir hasta 20 unidades más (recurso A y C).

Así mismo: Utilidad (M) = (190+10) x 50 + 200 x 40 = 18000.
Utilidad (N) = 190 x 50 + (200 + 20) x 40 = 18300.

Entonces la mejor combinación (M, N) = (190, 220).
Las nuevas restricciones son los recursos A y C (capacidad restringida).

CAPÍTULO 7. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN JIT

7.1. ¿QUÉ ES JUST IN TIME?

Just in Time (JIT, o Justo a Tiempo en español) es una filosofía industrial, de eliminación de todo lo que implique desperdicio en el proceso de producción, desde las compras hasta la distribución.

La eliminación del desperdicio tiene como resultado a largo plazo un proceso fabril tan ágil, tan eficiente, tan orientado a la calidad y tan capaz de responder a los deseos del cliente, que llega a convertirse en un arma estratégica.

La modalidad JIT no sólo les ofrece a las empresas la oportunidad de mejorar notablemente la calidad de sus productos elaborados, sino que les permite reducir su tiempo de respuesta al mercado.

Es decir:

> Servir a los Clientes justo en el momento preciso, exactamente en la cantidad requerida, con productos de máxima calidad y mediante un proceso de producción que utilice el mínimo inventario posible y que se encuentre libre de cualquier tipo de desperdicio o costo innecesario.

7.2. LOS SIETE ELEMENTOS DE LA FILOSOFÍA JIT.

Primero se determinó que en la filosofía JIT, la ELIMINACIÓN DEL DESPERDICIO es en realidad el punto clave de todo el fenómeno JIT, por tanto, aquella fue separada de los siete elementos y se situó en la cima como una sobrilla que comprendía todo lo demás. Los seis elementos restantes son en realidad técnicas y modos para eliminar el desperdicio.

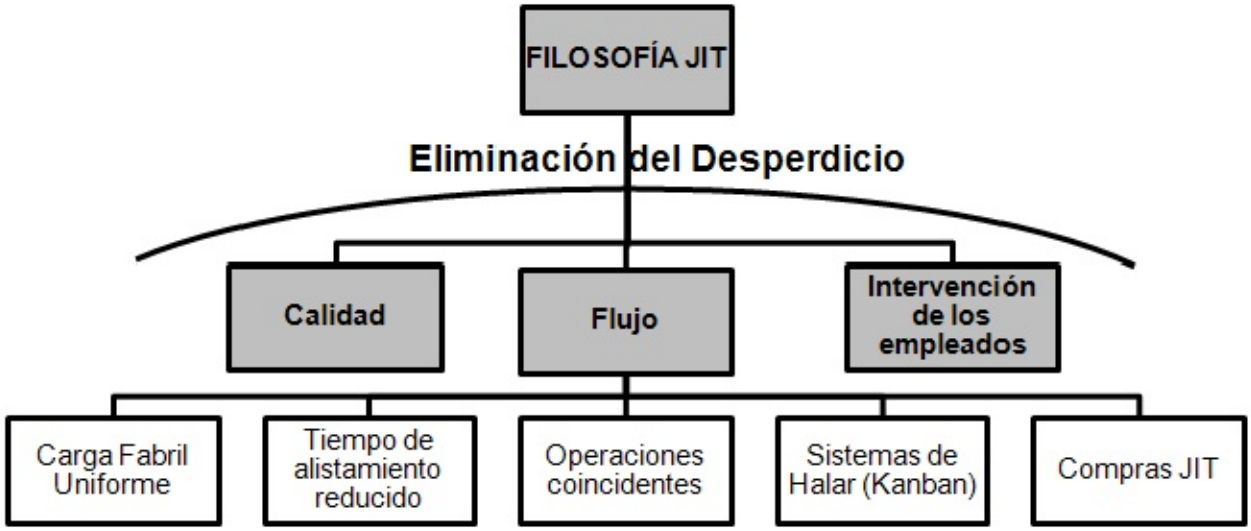
La CALIDADes un tema principal para la eliminación del desperdicio, por ello es considerado el segundo componente básico necesario para el JIT. Ahora bien,

aunque el JIT no es absolutamente necesario para la calidad, ésta ciertamente sí lo es para el JIT.

Los cinco elementos restantes son: carga fabril uniforme, operaciones coincidentes, agilización del alistamiento de máquinas, compras JIT y un sistema de halar, estos cinco elementos son conocidos como TÉCNICAS DE FLUJO, es decir, la manera como el proceso fabril avanza de una operación a la siguiente.

Con esto, los siete elementos del JIT quedaron organizados de una manera más lógica. Sin embargo existe un elemento adicional que debe estar presente en cada elemento del JIT para que funcione: LA INTERVENCIÓN DE LOS EMPLEADOS.

El siguiente gráfico muestra la relación entre los siete elementos, en el gráfico se puede apreciar que los tres componentes básicos del JIT son: Flujo, Calidad e intervención de los empleados:



7.3. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR DESPERDICIO EN LA FILOSOFÍA JIT?

Ejecutada correctamente, la filosofía JIT reduce o elimina buena parte del desperdicio en las actividades de compras, fabricación, distribución y apoyo a la fabricación (actividades de oficina) en un negocio de manufactura. Esto se logra utilizando los tres componentes básicos: flujo, calidad e intervención de los empleados. Primero es necesaria una definición práctica de desperdicio. La empresa Toyota, que dio origen a la modalidad JIT, define como desperdicio

"todo lo que sea distinto de la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas y tiempo laboral absolutamente esenciales para la producción", sin embargo esta definición trajo muchos inconvenientes en las empresas debido a que no pueden llegar a un acuerdo sobre qué es esencial.

La definición norteamericana de desperdicio, que se ha formulado modificando la definición de Toyota para incluir el concepto del valor agregado es:

> "Todo lo que sea distinto de los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto".

¿Qué quiere decir la expresión recursos mínimos absolutos?
Algunos ejemplos serían los siguientes:

- Un solo proveedor, si éste tiene capacidad suficiente.
- Nada de personas, equipos ni espacios dedicados a rehacer piezas defectuosas.
- Nada de existencias de seguridad.
- Ningún tiempo de producción en exceso.
- Nadie dedicado a cumplir tareas que no agregan valor.

¿Qué implica "El valor agregado"?

> Las únicas actividades que agregan valor son las que producen una transformación física del producto.

Ejemplos de procesos que agregan valor al producto:

- En el labrado a máquina, por ejemplo, cada corte que se le hace a la pieza le agrega valor.
- El enchape y el tratamiento térmico.
- El ensamblaje de un producto.
- Mezclar, fundir, moldear, soldar, tejer y esterilizar; procesos que agregan valor.
- En los negocios de ventas al consumidor, empacar agrega valor pues aumenta el valor del producto ante los ojos del cliente.

Ejemplo de procesos que no agregan valor al producto:

- Contar un producto no le agrega valor.

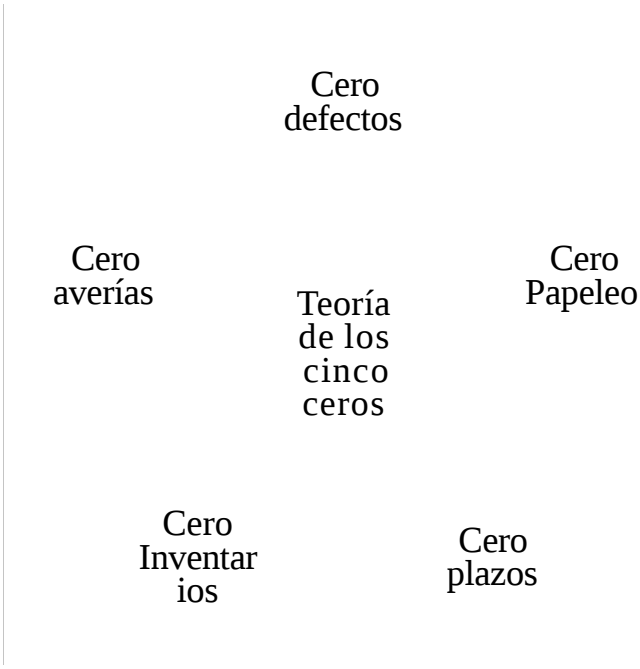
- Mover un producto no le agrega valor, por el contrario, mover un producto abre la posibilidad de que pierda valor si sufre algún daño.
- Almacenar cosas no les agrega valor.
- Traspasar algo de un recipiente grande a uno pequeño no agrega valor.
- La inspección no agrega valor.

Todas estas cosas agregan costos pero no valor: son DESPERDICIOS.
Todo aquello que se identifique como desperdicio, puesto que no agrega valor directamente al producto, se deberá eliminar.

Por lo tanto, ¿Qué se elimina con la implementación del JIT?
Con la implementación de JIT se elimina:

- Sobreproducción (mayor consumo de recursos, confusión de prioridades).
- Tiempo de espera del trabajador (aprovecharlas en otras actividades).
- Transporte de materiales (costos, tiempos).
- Inventario (espacio, costo de mantenimiento, papeleo).
- Procesamiento (método y tecnología).
- Movimientos de los trabajadores (tiempos).
- Defectos en productos (ajustes, retrabajo, venta perdida).

La filosofía JIT se basa en la teoría de los cinco ceros propuesta por Archier y Seryex:



7.4. DESPERDICIO: IMPORTANCIA DEL FLUJO Y DE LA CALIDAD.

El FLUJO, uno de los principios centrales de la filosofía JIT, confirma que Henry Ford tenía razón respecto al concepto de línea de ensamble. El nombre “línea de ensamble” se originó en el hecho de que las piezas y los componentes se unían en secuencia, es decir se “ensamblan” al armazón mientras éste se desplazaba por una línea en que había equilibrio, sincronización y un flujo ininterrumpido.

La línea de ensamble creada por Henry Ford se aproxima mucho a la producción JIT perfeccionada por la empresa Toyota.

Definición de producción JIT o línea de ensamble.

La Línea de Ensamble en la Filosofía JIT implica:

"La cantidad mínima posible en el último momento posible y la eliminación de existencias".

La Línea de ensamble emplea la cantidad mínima posible. Aunque la cantidad de un pedido sea un millón de unidades y aunque la línea de ensamble esté en proceso de fabricar ese millón de unidades, las va trasladando unidad por unidad, de una operación a otra y cada operación tiene una sola unidad.

La Línea de ensamble trabaja en el último momento posible. La operación dos está completa y lista para pasar a la operaciones tres exactamente cuando la operación tres la necesita. Si la operación tres deja de necesitar esa unidad, entonces la operación dos deja de producirla.

Es preciso eliminar las existencias pues constituyen el principal obstáculo para el flujo ágil.

Una línea de ensamble o secuencia cualquiera de hechos o de operaciones que tenga equilibrio, sincronización y flujo incluirá poca o ninguna actividad de desperdicio.

Una de las maneras más singulares de eliminar el desperdicio y que se asocia con la línea de ensamble, tiene que ver con la escasa necesidad de programar. En la producción por lotes es necesario programar cada operación. En cambio, la línea de ensamble se programa como un todo, generalmente por medio de una programación maestra conforme a las necesidades del cliente. Cada operación dentro de la línea de ensamble se programa a sí misma, es decir se controla a sí misma si la línea permanece equilibrada y sincronizada.

ELIMINACIÓN DE EXISTENCIAS.

Parte de la definición de la producción JIT tiene que ver con la eliminación de existencias. Esta parte de la definición ha contribuido tanto como cualquier otro factor a generar la idea errónea de que el JIT es un programa de reducción de inventarios.

Muchos piensan que la razón para eliminar existencias es que éstas cuestan. Ciertamente es costoso mantener existencias y a la empresa le conviene reducir tales costos, sin embargo, aunque la reducción de costos reales es una meta

importante de la modalidad JIT, no es ésta la razón por la cual se busca reducir o eliminar las existencias.

La razón es que las existencias son malas en sí mismas. Son malas para el proceso de fabricación.

¿Por qué son malos los Inventarios?

Porque los inventarios esconden problemas . Los fabricantes tradicionales siempre han pensado que las existencias los protegen a ellos y a sus clientes contra problemas: pero la filosofía JIT les demuestra que sucede todo lo contrario.

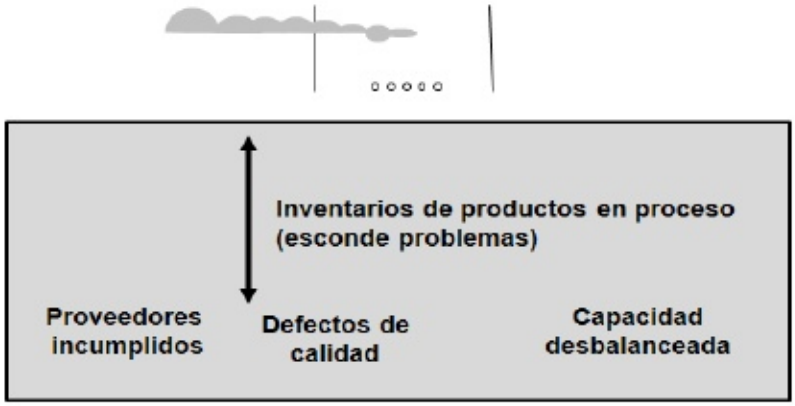
> "En realidad, los Inventarios protegen los problemas, impidiendo que alguien los resuelva".

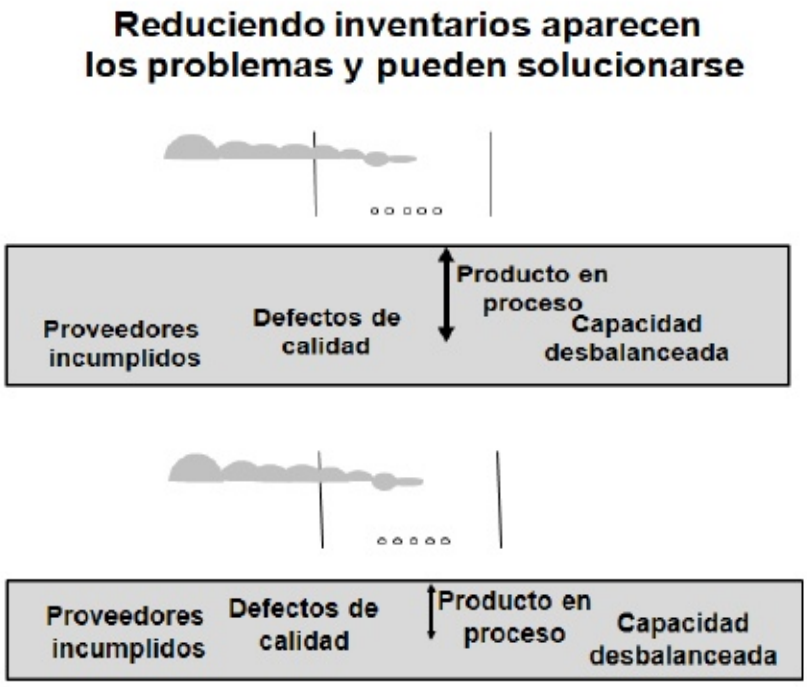
Al proveer amortiguadores en la operación y existencias en todo el proceso, los fabricantes impiden que se resuelva problemas. Tales existencias sirven para ocultar los problemas y ofrecen a los fabricantes otras maneras de adaptarse a los problemas sin necesidad de resolverlos.

Rocas y Aguas.

Quienes implantan la filosofía JIT, tanto en el Japón como en el Occidente, suelen hablar de "rocas y agua". Las rocas son el símbolo de todos los problemas, el agua representa las existencias empleadas por los tradicionalistas para protegerse y amortiguar estos problemas: las existencias que ocultan los problemas.

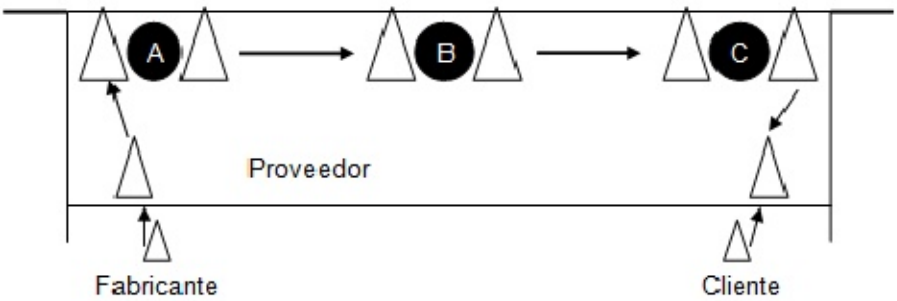
Lo indicado es reducir el nivel del agua, o sea las existencias, para que los problemas queden expuestos y se pueda proceder a resolverlos.





Todos estos cambios en los sistemas no solo afectaron la producción sino que, además causaron transformaciones dramáticas en los métodos para administrar los procesos. A partir de la eliminación de inventario y de la necesidad de respaldo que permitieron estos cambios, resultaba imposible tratar cada operación por separado. Cualquiera que haya sido la razón por la que antes existía inventario, en última instancia servía para desacoplar las operaciones, dando lugar a su manejo casi como entidades separadas con la implementación del nuevo sistema esto dejo de ocurrir. Los administradores se vieron obligados a utiliza una perspectiva total del sistema y como los propósitos y los enfoques de este ahora eran distintos, también tuvieron que modificarse los métodos y las medidas utilizados en él.

Suponga que tenemos una operación sencilla con tres centros de trabajo (A, B y C) como se ilustra en la siguiente figura:

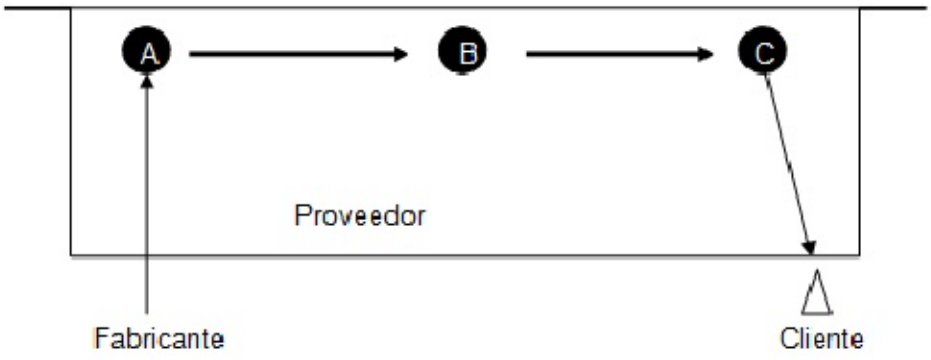


En el diagrama, los triángulos representan el inventario. Concentre su atención en uno de los centros de trabajo, digamos el centro B, y hágase algunas preguntas,

por ejemplo: ¿Qué sucedería si el centro de trabajo B experimentara una falla en su equipo? La respuesta seria que, en el corto plazo, solo el centro de trabajo B se vería afectado. Dado que hay espacio para el inventario entre A y B; el centro A podrá continuar trabajando durante el tiempo que dure el inventario. Lo más importante es que la operación puede seguir atendiendo al cliente. El resultado es el mismo sin importar la razón de cualquier alteración que pudiera sufrir el centro de trabajo B: ausentismo laboral, fabricación de productos de baja calidad. Esto permite que la administración se concentre exclusivamente en solucionar el problema que enfrenta el centro B y que el costo para la empresa equivalga únicamente a su resolución.

Esto ilustra un punto muy importante respecto del inventario (mencionado brevemente en los párrafos precedentes): En todos los sistemas y sin importar la razón de su existencia, los inventarios actúan de manera automática como agentes de desacoplamiento, ya que permiten que la administración concentre su atención únicamente en una parte del sistema a la vez. Como también hemos indicado, esto es válido tan solo para el corto plazo o, de forma más específica, hasta que se agote el inventario entre los centros de trabajo.

A continuación examinaremos la misma instalación, pero después de implementar con éxito un programa JIT en ella. Aún cuando lograr una reducción significativa en los niveles de inventario no es el único objetivo del sistema JIT, sin duda esta es una meta muy importante, y que puede considerársele como un subproducto de todas las actividades que hemos venido describiendo. Si damos por sentado que el programa tiene ya algún tiempo en práctica. Podemos asumir que los niveles de inventario son muy bajos, situación que se ilustra en la siguiente figura:



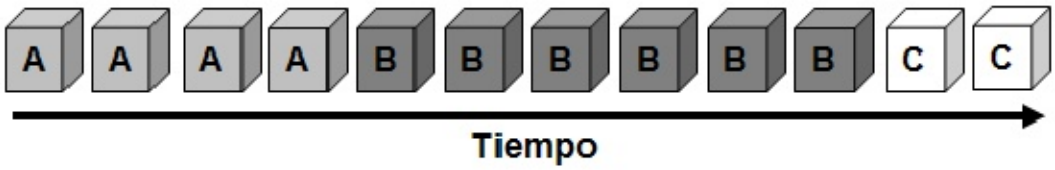
En esta situación el inventario ha sido reducido hasta el punto en que toda cantidad importante se puede presentar solo en la fabrica del cliente (suponiendo que la asociación entre éste y el proveedor ha sido exitosa) lo que permite tanto la

La filosofía JIT dice que se necesita equilibrio para que haya flujo y que por tanto el equilibrio es de importancia primordial. ¿Qué se debe equilibrar con qué? La respuesta la encontramos en el concepto de carga fabril uniforme.

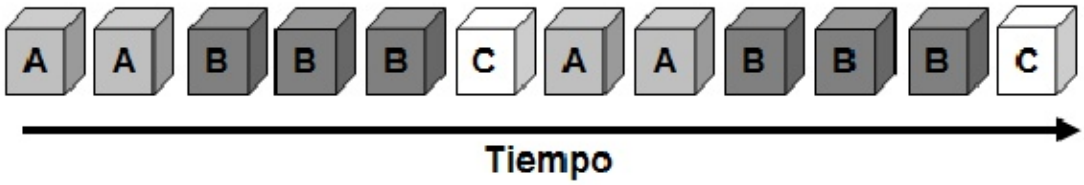
Este concepto de carga fabril uniforme introduce dos ideas: una es el "tiempo de ciclo", que se refiere al ritmo de producción. La otra es la "carga nivelada", que se refiere a la frecuencia de la producción.

7.4.1.1. Lotes pequeños vs lotes grandes.

El enfoque de lotes grandes: plantea producir grandes cantidades de un solo producto a la vez, es decir que según este enfoque es necesario terminar con la producción de un tipo de producto para poder pasar a otro tipo, el gráfico siguiente muestra este enfoque de Lotes Grandes:



El enfoque JIT: plantea el uso de lotes pequeños mediante el método de nivelado de la producción, es decir se puede "unir en un paquete" ciertas cantidades de cada tipo de producto con el objetivo de producirlos "como un todo". Mediante Lotes Pequeños se reducen los niveles de inventarios y también aumentan la flexibilidad para atender a la demanda.



7.4.1.2. Nivelado de la producción.

Una inestabilidad en la demanda puede requerir el uso de inventarios de seguridad, personal o capacidad extra u otros medios para compensar irregularidades, como se sabe hasta este punto, todas estas "posibles soluciones"

terminan siendo problemas para la empresa que al paso de los años se hacen difíciles de solucionar.

La filosofía JIT plantea la ejecución de programas nivelados, ello implica la distribución uniforme de la producción a lo largo del tiempo, es decir conformar un mix de pequeños lotes diarios.

Uno de los métodos más conocidos para realizar el nivelado de la producción es el Programa de Montaje Final (PMF).

¿Qué es un programa de montaje final?
Un Programa de Montaje Final, es una técnica que permite la conformación de un mix de productos los cuales serán tratados como un conjunto y tiene por objetivo flexibilizar la atención de la demanda. Para ello se realizan los siguientes pasos:

1. Calcular la demanda diaria de cada tipo de producto.
2. Calcular el tiempo disponible al día.
3. Calcular el Ciclo de Fabricación de cada tipo de producto, para ello se divide el tiempo disponible al día entre la demanda diaria de cada tipo de producto.
4. Elegir el mayor ciclo de fabricación.
5. Para calcular la cantidad de unidades de cada tipo de producto en el MIX se debe dividir el mayor ciclo de fabricación entre cada uno de los ciclos de fabricación.

Problema resuelto: programa de montaje final.
Se tiene el siguiente plan maestro de producción:
Familia de productos de 10 000 unidades.
Duración: 1 mes de 20 días laborables.
Pérdida de tiempo al día: 20 minutos.
Considerar 2 turnos por día y cada turno de 8 horas.
Se presenta la siguiente información de Demanda:

Producto	Demanda Mensual (unid)
A	4000
B	3000
C	2000
D	1000

Se pide realizar el nivelado de la producción mediante un programa de montaje final en el enfoque JIT

Solución.

A continuación se presenta el Desglose por Productos de la Fabricación, considerando que 1 mes tiene 20 días laborables.

Producto	Demanda Mensual (unid)	Fabricación diaria (unid/día)
A	4000	200
B	3000	150
C	2000	100
D	1000	50
Total	10000	500

Días laborables = 20 días/mes.

Disponibilidad diaria = (2 turnos x 8 horas/turno x 60 min/hora) – 20 min = 940 min.

Ciclo de Fabricación = (940 min/día) / (500unid/día) = 1.88 min/unid.

Tasa media de Fabricación = (10 000 unid/mes) / (20días/mes) = 500 unid/día.

A continuación se presenta el cuadro de nivelado de la producción, es decir la cantidad de unidades de cada producto por ciclo:

Producto	Ciclo de Fabricación (minutos)	Cantidad de unidades por ciclo
A	940/200 = 4.7	18.8/4.7 = 4
B	940/150 = 6.27	18.8/6.27 = 3
C	940/100 = 9.4	18.8/9.4 = 2
D	940/50 = 18.8	18.8/18.8= 1

Por lo tanto, la secuencia de fabricación posible es:

4 unidades del producto A

3 unidades del producto B

2 unidades del producto C

1 unidad del producto D.

Es decir, la secuencia de fabricación es AAAABBBCCD la cual será repetida 50 veces al día.

7.4.1.3. Beneficios de nivelar la carga.

La principal ventaja de reducir el tamaño de los lotes, es que con ello se sientan las bases para el flujo y el equilibrio nivel por nivel, pues cada artículo se produce en la forma más fácil y predecible. Además, la empresa puede derivar otros cinco beneficios importantes:

- Mejoras en la curva de aprendizaje.
- Mayor flexibilidad para combinar productos.
- Reducción del inventario.
- Tiempos de producción más cortos.
- Mejoramientos de la calidad.

7.4.2. Importancia de un tiempo mínimo de alistamiento.

Un requisito básico de la producción JIT es agilizar considerablemente el alistamiento de las máquinas. Esto prepara el camino para los demás elementos del JIT, desde la nivelación de la carga hasta las operaciones coincidentes, los sistemas de halar e incluso la calidad en la fuente.

Reglas básicas para agilizar el alistamiento.

Las reglas básicas se refieren a tres áreas y se plantean en forma de preguntas. La primera es ¿Qué se está haciendo? La segunda es ¿Por qué se está haciendo? La Tercera es ¿Quién lo está haciendo?

La definición de agilización del alistamiento incluye tres partes.

1. La primera dice que el objetivo es simplificar los alistamientos, no evitarlos. No se trata de acudir al departamento de proyección y programación para que se permita operaciones más prolongadas a fin de evitar los alistamientos. El mercado sencillamente ya no permite tal situación. El objetivo es simplificar el acto físico de alistar las máquinas.

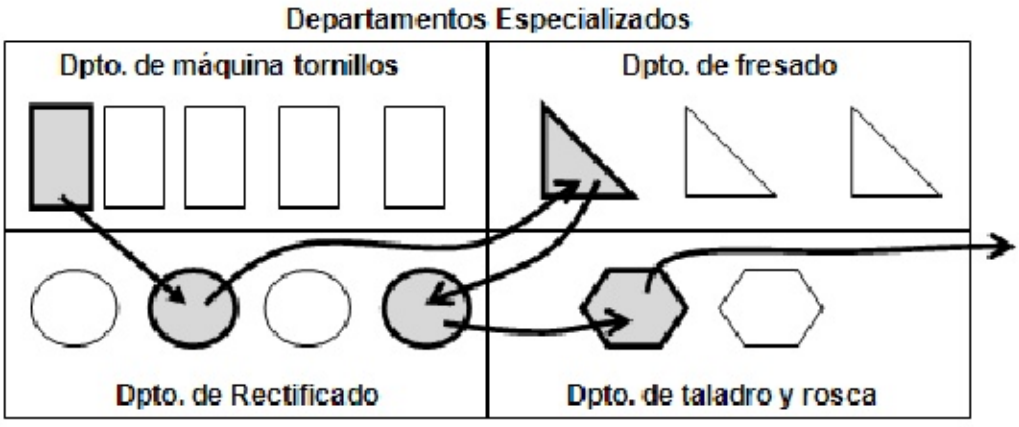
2. La segunda parte es medir el tiempo de alistamiento, concentrándose primero en el tiempo muerto de la máquina y luego en el costo. El costo es importante, pero el factor primordial es el tiempo muerto.

3. Tercera, se define como tiempo de alistamiento al tiempo que se requiere para pasar de un producto de calidad a otro producto de calidad. El desmonte, la limpieza, el cambio a la nueva operación, el tiempo para que funciones correctamente, la inspección de la primera pieza y el tiempo para alcanzar la velocidad de operación estándar son todos elementos que se incluyen en el tiempo de alistamiento para esa operación.

7.4.3. Tecnología de grupos: importancia de las operaciones coincidentes.

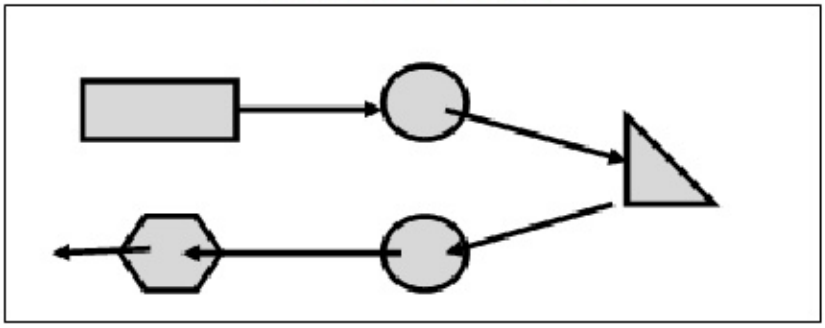
La expresión "Tecnología de grupos" se emplea en relación con el ordenamiento físico, la disposición y la localización de las máquinas en una instalación fabril.

La manera tradicional de organizar una instalación fabril es por departamentos especializados , cada uno de ellos, especializado en un tipo de equipo o de tecnología. En el siguiente gráfico se puede apreciar esta situación, todas las máquinas de tornillo están en un departamento, todas las rectificadoras en otro, el fresado se hace en otra zona y el trabajo de taladro y rosca en otra zona diferente:



En la producción JIT, es necesario que la fábrica se organice no por funciones especializadas, sino por productos. La maquinaria se debe dedicar total o parcialmente a una familia de productos y se debe disponer en el orden en que van a cumplirse las operaciones para esa familia de productos, el gráfico siguiente muestra esta situación de producción JIT centrada en el producto:

Centrada en el Producto



Celdas de trabajo JIT.

Para saber si existe una verdadera celda JIT, se pueden efectuar dos pruebas:

> La primera prueba es si el producto VA FLUYENDO UNO CADA VEZ de una máquina a otra.

Muchas celdas de máquinas en sus versiones más antiguas no pasaban esta prueba. Es cierto que el equipo estaba dedicado a una familia de productos y que físicamente se hallaba reunido, pero el artículo a menudo pasaba de una operación a la siguiente en lotes.

La insistencia absoluta en la producción de un artículo cada vez concuerda con nuestro tema repetitivo de la línea de ensamble de Henry Ford, aplicando en este caso los principios de la línea de ensamble a operaciones de maquinaria o fabricación.

Este flujo de un artículo cada vez es lo que da lugar a las operaciones coincidentes. Se genera un flujo en la que la operación 2 comienza tan pronto como sale la primera pieza de la operación 1. En realidad el “lote” se reduce a una pieza.

> La segunda prueba para saber si una celda de maquinaria es realmente una celda JIT es si tiene la FLEXIBILIDAD para operar a distintos ritmos de producción y con cuadrillas de diferentes tamaños (tiempo de ciclo).

Las celdas de maquinaria tradicionales rara vez han tenido en cuenta la flexibilidad. Se han ordenado y operado a un mismo nivel de producción: el máximo por hora que el equipo es capaz de producir.

Es necesario que las celdas de trabajo JIT sean ajustables para que puedan producir al ritmo exigido por la operación o por el cliente que ellas alimentan.

Una vez establecido la celda de trabajo JIT, es preciso formular dos preguntas:

1. ¿Qué necesitamos que la celda de trabajo entregue durante este periodo de producción?
2. ¿Cuántos operarios se necesitan en esa celda de trabajo a fin de obtener exactamente el volumen de producto que se requiere?

Múltiples máquinas.

Al preguntar primero qué se necesita y luego cuántos operarios son necesarios en determinado mes para cumplir los requisitos de producción de ese mes, establecemos el concepto JIT de "un operario, múltiples máquinas".

A primera vista, esto no parece apartarse mucho de la fabricación tradicional, a continuación veamos la diferencia entre esta y la fabricación JIT:

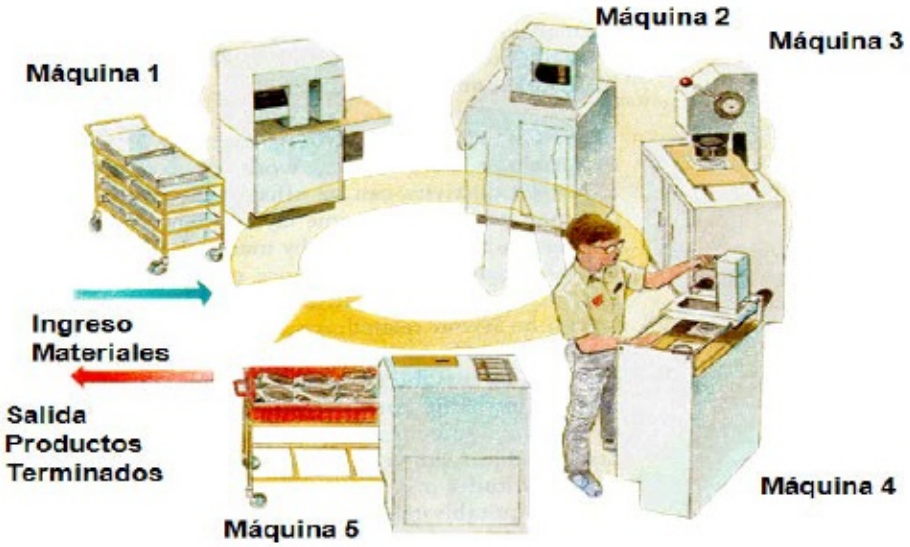
Fabricación Tradicional	Fabricación JIT "un operario, múltiples máquinas"
En la que cada uno de sus operarios tiene a su cargo más de una máquina. Sin embargo, en la mayoría de los casos la costumbre es que el operario maneje dos, tres o cuatro máquinas análogas, y que por lo general cada máquina se dedica a fabricar una pieza distinta.	En una celda de trabajo JIT, un operario maneja dos, tres o cuatro máquinas diferentes que hacen operaciones en la misma pieza, pasando la pieza de una operación a otra en secuencia de una cada vez.

El Operario en movimiento.

Cuando el operario pasa el producto uno cada vez de una operación a la siguiente, necesariamente él tiene que estarse moviendo. El concepto del operario en movimiento origina varios beneficios:

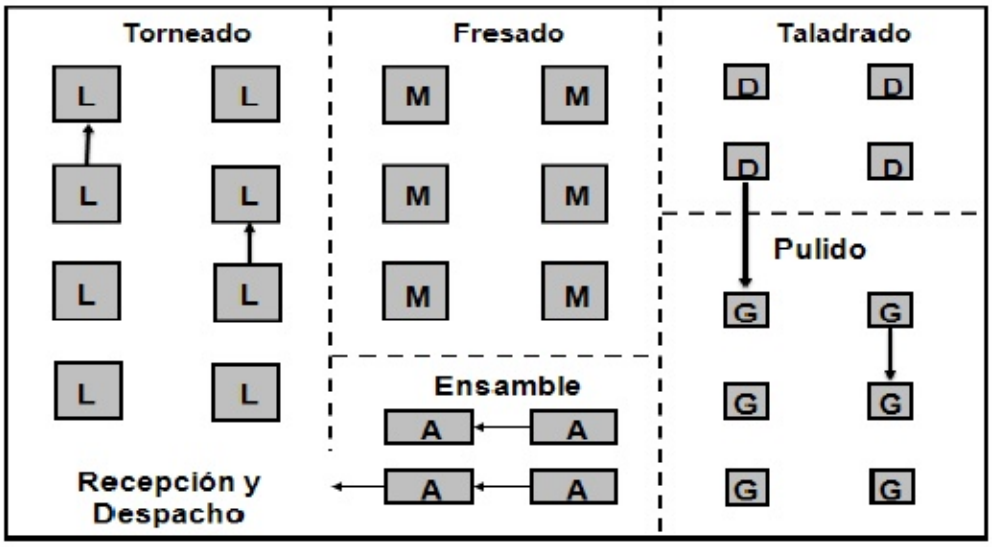
- Por una parte, la salud mejora y la mente se conserva más despierta. Los estudios demuestran que la salud y la viveza mental se benefician cuando los operarios permanecen de pie o, mejor aún, cuando pueden dar uno o dos pasos. El estado de alerta mental repercute en la seguridad y en la calidad del producto.
- Además, el operario sentado solamente alcanza cosas dentro de un radio muy pequeño. Al estar de pie, aumenta considerablemente su alcance . Al poder moverse un paso o dos en cada dirección, el operario alcanza un área mucho más grande. Dar el paso y alargar la mano suceden simultáneamente, por lo cual no se incurre en pérdida de tiempo aunque sí se aumenta la flexibilidad
- En la celda de trabajo JIT, el operario saca el material de la primera, máquina y lo coloca directamente en la siguiente. No hay camión y no hay que pagarles a otros empleados para que pongan el material en recipientes o para que lo extraigan.
- Cada operación sucesiva suele constituir una inspección 100% de la operación anterior, con lo cual se elimina la necesidad de pagarle a alguien para que realice la operación de inspección.

El siguiente gráfico muestra la distribución dentro de una celda de trabajo JIT:

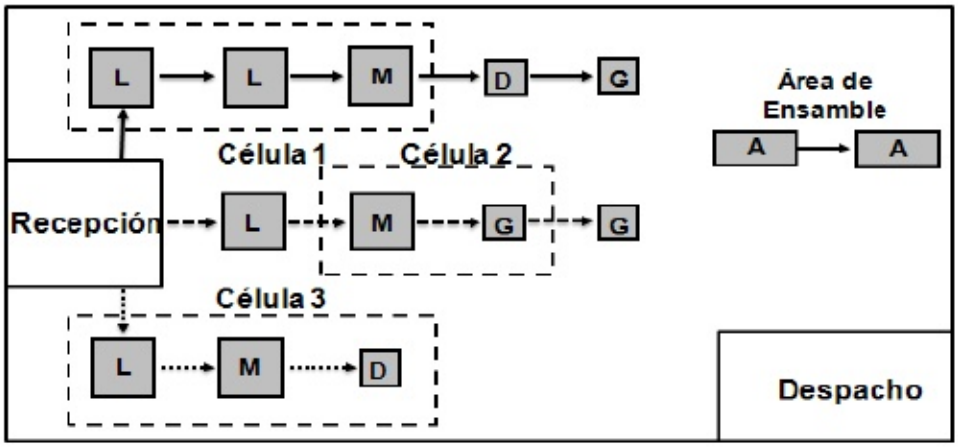


Ejemplo: diferencia entre una planta de producción tradicional sin células de manufactura y una planta de producción con células de manufactura JIT.

a) En esta planta de producción tradicional se observa un flujo discontinuo sin células de manufactura, se observa que la planta está distribuida por operaciones, las maquinas de la misma operación están agrupadas y el flujo de la pieza es discontinuo, ello genera que la flexibilidad sea casi nula.



b) La siguiente planta de producción es un ejemplo claro de JIT, en ella se puede apreciar la existencia de 3 células de manufactura, la distribución de la planta es por producto, el flujo de la pieza es continuo dentro de su célula, existe mucha flexibilidad.



¿Cómo diseñar las células de manufactura?

La metodología de agrupamiento (Clustering) se usa para integrar las partes de modo que se pueden procesar como una familia, detallando las partes y las

Cuadro 3: Se mueven las columnas según el Paso 2.

	# máquina					
# parte	5	4	2	3	1	# de 1s
3	1	1	1			3
6	1	1				2
4				1	1	2
1				1	1	2
5			1			1
2					1	1
# de 1s	2	2	2	2	3	

Cuadro 4: Se mueven las columnas según el Paso 2

	# máquina					
# parte	5	4	2	1	3	# de 1s
3	1	1	1			3
6	1	1				2
4				1	1	2
1				1	1	2
5			1			1
2				1		1
# de 1s	2	2	2	3	2	

Paso 3: Ordenar las filas. Columna por columna, comenzando con la del extremo izquierdo, correr las filas hacia arriba cuando existan oportunidades de formar bloques de 1s.

Cuadro 5: Se mueven las columnas según el Paso 3

	# máquina					
# parte	5	4	2	1	3	# de 1s
3	1	1	1			3
6	1	1				2
5			1			1
4				1	1	2
1				1	1	2
2				1		1
# de 1s	2	2	2	3	2	

Paso 4: Formar celdas. Buscar oportunidades de formar celdas de modo que todo el procesamiento para cada parte ocurra en una sola celda.

Cuadro 6: Se mueven las columnas según el Paso 4

	# máquina					
# parte	5	4	2	1	3	# de 1s
3	1	1	1			3
6	1	1				2
5			1			1
4				1	1	2
1				1	1	2
2				1		1
# de 1s	2	2	2	3	2	

Las celdas son:
Celda 1: máquinas 2,4 y 5. Se procesan las partes: 3, 5 y 6.
Celda 2: máquinas 1 y 3. Se procesan las partes: 1, 2 y 4.

7.4.4. Adelantar dando marcha atrás: importancia de los sistemas de halar.

Los sistemas de halar, conocidos como Kanban, serán tratados en el siguiente capítulo con mayor extensión.

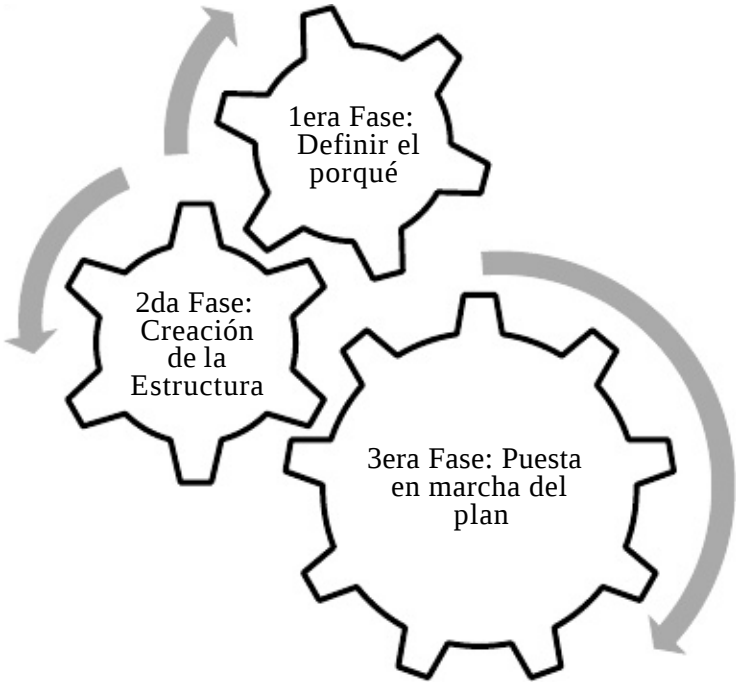
7.5. IMPLANTACIÓN DEL JIT: PAPEL CRUCIAL DE LA ADMINISTRACIÓN.

Luego de entender los elementos técnicos de la producción JIT, ahora la pregunta es cómo hacerla realidad. Las empresas con mejores resultados son las que procuran imponer el JIT, para responder a los desafíos externos: ganar o conservar una participación en el mercado, mejorar la calidad y reducir el precio. Estas compañías buscan que su fabricación sea un arma estratégica en el mercado.

Otras empresas piensan en el JIT como una herramienta para reducir costos, agilizar el proceso fabril y, por consiguiente aumentar sus márgenes de utilidad. Estas logran algún éxito en la implantación del JIT, pero notoriamente menor que las firmas que buscan un arma de fabricación verdadera.

Las empresas con los peores resultados son aquellas que piensan en el JIT simplemente como un método para reducir inventarios.

Las tres fases de la implantación del JIT.



1era Fase: definir el porqué.

En esta primera fase de implantación del JIT, la empresa tiene que señalar la razón especifica por la cual se embarca en este proceso. Ello se logra formulando una serie de imágenes de los podría ser la empresa si impusiera el ambiente JIT, para luego ver cómo esas imágenes se pueden incorporar dentro de una estrategia empresarial encaminada a aventajar a la competencia en el mercado y

cómo la visión y la estrategia pueden extenderse por toda la organización.

En esta fase hay dos pasos. El primero es de concientización, el segundo es de estrategia .

En el paso de concientización: se tendrá que formar una idea detallada y clara del JIT a fin de generar una serie de tres visiones del futuro relacionadas entre sí:

- Una visión del proceso físico.
- Una visión del clima organizacional.
- Una visión del mercado.

Para la visión del proceso físico, se debe formular una idea de cómo podría y debería ser la empresa dentro de 3 a 5 años en el ordenamiento físico de la instalación fabril y en el flujo de los materiales por los procesos de compra, fabricación y distribución. Esta visión responde a las siguientes preguntas:

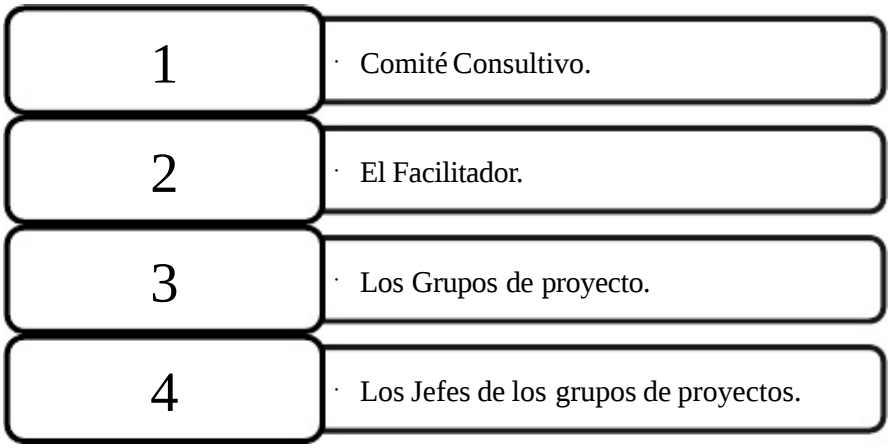
- ¿Qué desperdicios actuales se van a eliminar? ¿Qué costos se reducirán y en qué valor? ¿Cómo fluirá el producto?
- ¿Dónde habrá celdas de maquinarias, sistemas Kanban?
- ¿Cuáles serán los tiempos de alistamiento de máquinas? ¿Cuáles serán los tiempos de fabricación? ¿Cuántos proveedores clave habrá? ¿Con qué frecuencia harán entregas ellos? ¿En cuánto tiempo entregarán?
- ¿Con qué rapidez se atenderán los pedidos de los clientes? ¿Qué artículos podremos producir cada día, cada dos días, cada semana?

La visión del clima organizacional: es una idea de cómo tendrá que ser éste para que el JIT se haga realidad.

En la visión del mercado: las directivas deberán convertir su visión cuantificada del proceso físico en un esquema mental de una serie de posibles oportunidades en el mercado para adelantarse a la competencia. Éstas incluyen:

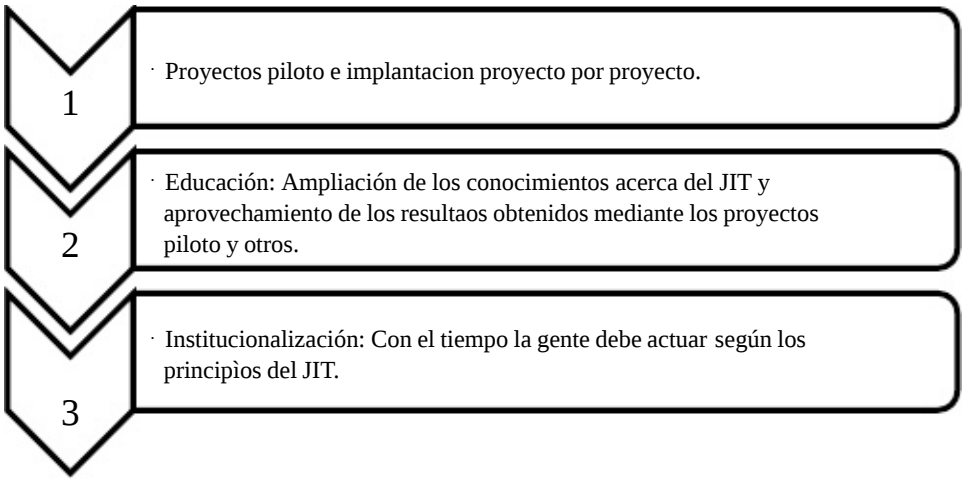
- Entregas más rápidas.
- Entregas más frecuentes.
- Mejor servicio al cliente.
- Más variedad de productos.
- Menor precio.
- Mejor calidad.

En el siguiente gráfico vemos que todo parte de una visión del proceso físico, el cual permite llegar a tener una visión del clima organizacional necesario.



3era Fase: Puesta en marcha del plan.

En esta fase final, el papel de las directivas se modifica. Aquí les corresponde guiar y no dirigir, facilitar y no impulsar. La tercera fase comprende tres pasos:


1
· Proyectos piloto e implantacion proyecto por proyecto.
2
· Educación: Ampliación de los conocimientos acerca del JIT y aprovechamiento de los resultaos obtenidos mediante los proyectos piloto y otros.
3
· Institucionalización: Con el tiempo la gente debe actuar según los principìos del JIT.

CAPÍTULO 8. SISTEMAS KANBAN

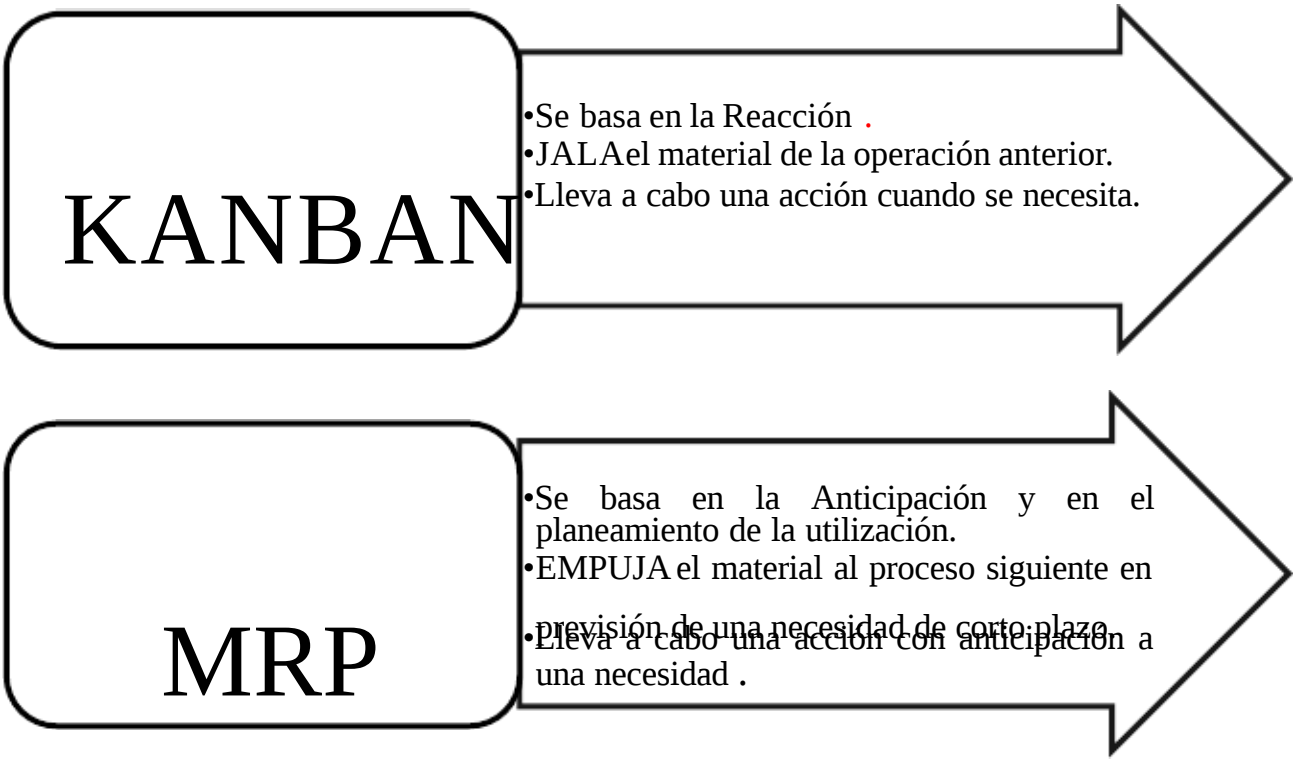
8.1. ¿Qué es un sistema Kanban?

Es un Sistema de Producción donde cada operación JALA el material que necesita de la operación anterior. Kanban significa "TARJETA DE INSTRUCCIÓN" en japonés y es la señal que autoriza mover o producir.

La Tarjeta de Instrucción Kanban contiene información que sirve como orden de trabajo, ésta es su función principal, en otras palabras es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de que se va a producir, en qué cantidad, mediante que medios y como transportarlo.

El Kanban se diferencia de un sistema clásico, como por ejemplo el MRP, en la medida que en un sistema clásico de producción se EMPUJA, es decir que se lleva a cabo una acción con anticipación a la necesidad; sin embargo en un sistema Kanban se JALA, es decir, se lleva a cabo una acción cuando se necesite.

El siguiente gráfico muestra una comparación entre los Sistemas Kanban y el MRP:


KANBAN
•Se basa en la Reacción .
•JALA el material de la operación anterior.
•Lleva a cabo una acción cuando se necesita.
MRP
•Se basa en la Anticipación y en el planeamiento de la utilización.
•EMPUJA el material al proceso siguiente en previsión de una necesidad de corto plazo.
•Lleva a cabo una acción con anticipación a una necesidad .

En base a lo mencionado en el gráfico de comparación…

¿Se podría decir que los sistemas Kanban y el MRP son incompatibles?

Cuando los sistemas Kanban y JIT fueron comprendidos y se implementaron por primera vez fuera de las compañías japonesas en que se habían originado, mucha gente pensó que Kanban era tan diferente de MRP que la elección de uno claramente excluiría al otro.

A medida que los administradores sintieron confianza en los sistemas, sin embargo, se dieron cuenta de que ambos podían utilizarse en conjuntos para obtener una operación global efectiva.

Por ejemplo, suponga que implementamos el sistema MRP para asegurarnos de que:

- El material proveniente de proveedores con largos tiempos de espera se pueda ordenar de manera que el abasto quede garantizado.
- Los cambios de diseño se pueden planificar de manera que todos puedan saber cuándo consumir el viejo diseño, cuando tener el nuevo diseño listo y cuando desarrollar planes eficaces para introducirlo.
- Como en los sistemas JIT la capacidad debe ser cuidadosamente planificada debido a la falta de "capacidad almacenada" o inventario, el sistema MRP puede proporcionar un método muy efectivo para lograrlo.
- El MRP se puede utilizar para proyectar "picos" de demanda que excedan la cantidad que un sistema Kanban operado normalmente pueda manejar. Tales picos pueden ser resultado, por ejemplo, de una promoción de marketing o por la falla de un competidor. Junto con un pronóstico efectivo, planificación de ventas y operaciones, y el uso del sistema MRP, estos picos se pueden predecir tanto en tiempo como en cantidad. Esto permitirá que la empresa ingrese material extra en el sistema en el momento correcto para cubrir tales picos.

Aún, cuando la operación puede utilizarse el sistema MRP para llevar a cabo los tipos de planes descritos aquí, no hay razón para que la operación tenga que utilizar el programa detallado del sistema MRP para ejecutar el plan. El sistema Kanban puede seguir siendo efectivamente utilizado para la ejecución ahora que los responsables de la planificación saben que la capacidad y el material apropiados estarán en el momento correcto, tal como lo proyectó el sistema MRP.

¿Qué se obtiene con el Kanban?

Se obtiene ALTA PRODUCTIVIDAD, porque se utilizan menos materiales, menos mano de obra y menos entradas indirectas para logar las mismas salidas (o más).

Se obtiene también MEJOR CALIDAD, porque se utiliza lotes de producción más pequeños, reduce los tiempos de entrega y promueve una cultura de mejora continua.

Básicamente KANBAN nos servirá para lo siguiente:

- Poder empezar cualquier operación estándar en cualquier momento.
- Dar instrucciones basados en las condiciones actuales del área de trabajo.
- Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y prevenir el exceso de papeleo innecesario.

Otra función de KANBAN es la de movimiento de material, la etiqueta KANBAN se debe mover junto con el material, si esto se lleva a cabo correctamente se lograrán los siguientes puntos:

- Eliminación de la sobreproducción.
- Prioridad en la producción, el KANBAN con más importancia se pone primero que los demás.
- Se facilita el control del material.

8.2. INSTRUMENTOS DEL KANBAN.

Existen dos tipos de Kanban:

Kanban de Transporte	Kanban de Producción
• Se lleva al pasar de un proceso a otro.	• Se utiliza para ordenar la producción de la parte retirada por el proceso anterior.

Información necesaria en una tarjeta Kanban.

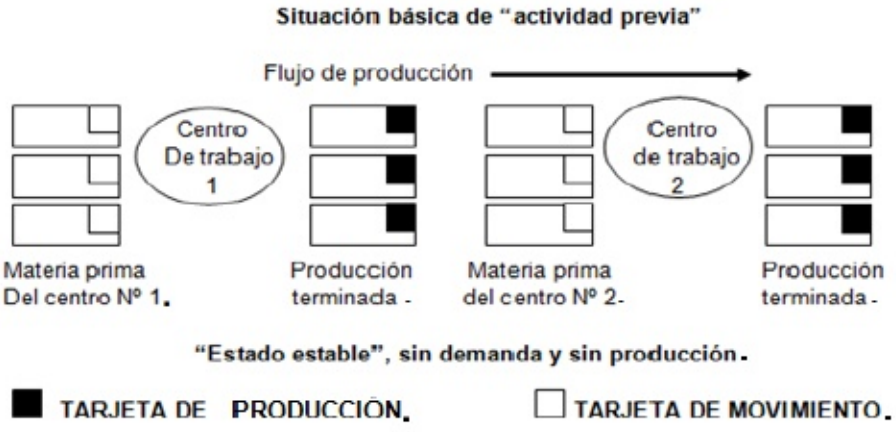
La información en la tarjeta Kanban debe ser tal, que debe satisfacer tanto las necesidades de manufactura como las de proveedor de material. La información necesaria sería la siguiente:

1. Número de parte del componente y su descripción.
2. Nombre/ Número del producto.
3. Cantidad requerida.
4. Tipo de manejo de material requerido.
5. Donde debe ser almacenado cuando sea terminado.
6. Punto de re-orden.
7. Secuencia de ensamble / producción del producto.

8.3. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA KANBAN.

El siguiente conjunto de diagramas ilustra el uso de lo que suele denominarse "Sistema Kanban de dos tarjetas"; en él se utiliza una Tarjeta de producción (en donde se autoriza la producción de un componente específico indicado mediante un número) y una Tarjeta de transporte o movimiento (con la autorización para el movimiento del material identificado en ella).

Al comienzo del proceso no hay movimiento alguno, puesto que todas las tarjetas que autorizan las distintas actividades todavía no han sido asignadas y se encuentran al lado de cada contenedor (por ejemplo, adheridas a un panel); únicamente cuando una tarjeta ha sido asignada se permite ejecutar una actividad en el material correspondiente. En consecuencia, resulta evidente que el número de tarjetas que haya limitará el inventario autorizado en cada ubicación.

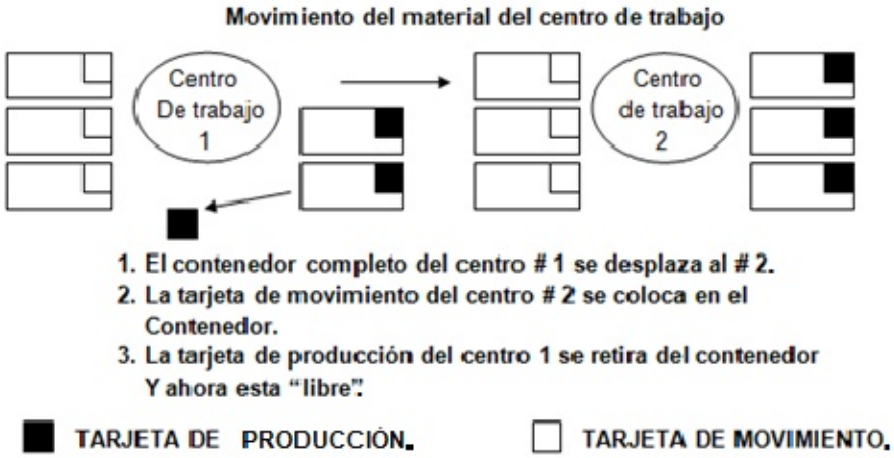

Situación básica de "actividad previa"
Flujo de producción
Centro De trabajo 1
Centro de trabajo 2
Materia prima Del centro Nº 1.
Producción terminada -
Materia prima del centro Nº 2-
Producción terminada -
"Estado estable", sin demanda y sin producción.
TARJETA DE PRODUCCIÓN.
TARJETA DE MOVIMIENTO.

Cuando llegue el momento de que un proceso inferior requiera partes producidas por el centro de trabajo 2 (almacenadas en su inventario de "producción terminada"), el personal tomará un contenedor de material y dejarán la tarjeta de

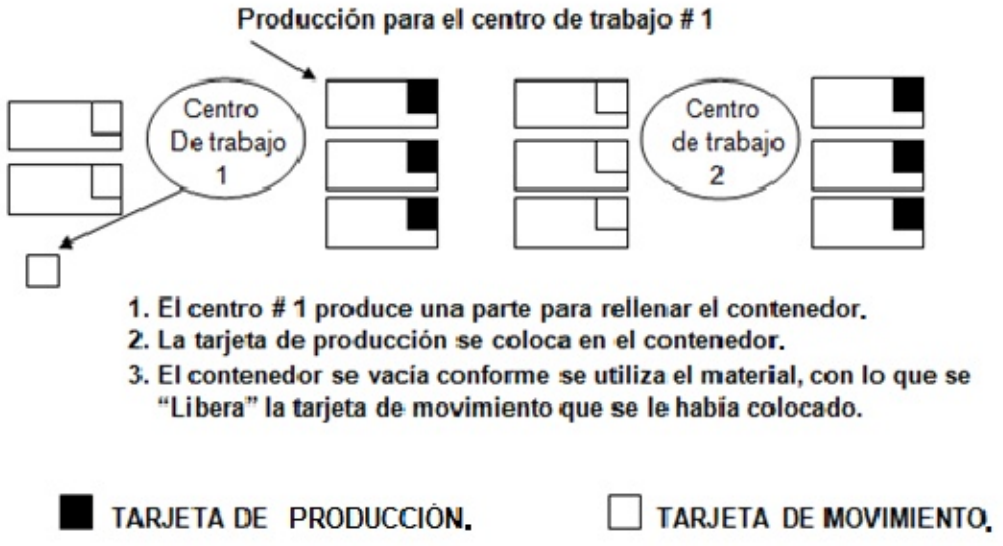
producción en el centro de trabajo 2, al cual corresponde la actividad. Este procedimiento ilustra dos reglas más del sistema: cualquier movimiento de material se realiza en contenedores llenos (recuerde que el tamaño del lote del contenedor debe ser muy pequeño); además, las tarjetas Kanban están vinculadas con un centro de trabajo, no con el material en sí mismo. Esta primera actividad se ilustra en la siguiente figura:

La asignación de la tarjeta de producción y el espacio vacío que ha dejado en el panel, es la señal para que el centro de trabajo 2 inicie la producción para remplazar el contenedor que fue tomado. Por supuesto, para realizar ese trabajo se necesita materia prima, la cual esta almacenada en contenedores frente al centro de trabajo; a su lado se encuentran las tarjetas de movimiento (una vez más, probablemente adheridas a un panel). Cuando la materia prima se utiliza para remplazar el material terminado del centro de trabajo 2, el contenedor de materia prima se vacía, señal de que la tarjeta de movimiento correspondiente ha sido asignada, ver la siguiente figura:

La asignación de la tarjeta de movimiento autoriza el desplazamiento de material (de manera específica aquel que remplazará al que ya fue utilizado). El material se encuentra en la sección “bienes terminados” del centro de trabajo 1, el operador (u operario de material) lo desplazará ahora, pero para hacerlo pegará la tarjeta de movimiento sobre el contenedor como prueba de que está autorizado para ello, no sin antes desprender la tarjeta de producción que autorizo su participación en el proceso de manufactura. Ésta es otra importante característica del sistema Kanban: los contenedores de material solo pueden tener adherida una tarjeta en un momento dado; por lo tanto, antes de colocarle la tarjeta de movimiento será preciso quitarle la tarjeta de producción, ver siguiente figura:

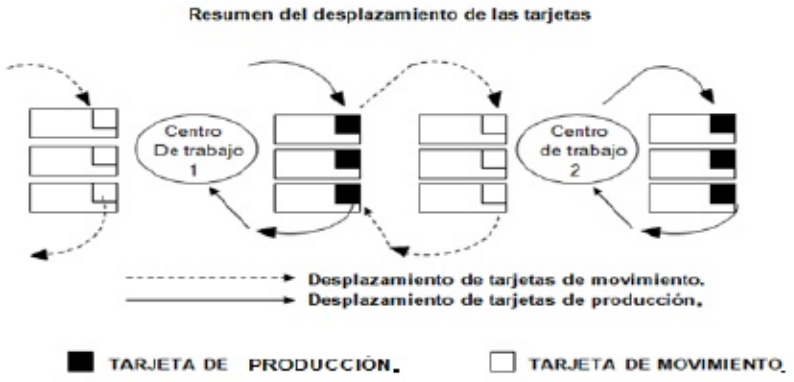

Movimiento del material del centro de trabajo
Centro
De trabajo
1
Centro
de trabajo
2
1. El contenedor completo del centro # 1 se desplaza al # 2.
2. La tarjeta de movimiento del centro # 2 se coloca en el Contenedor.
3. La tarjeta de producción del centro 1 se retira del contenedor Y ahora esta “libre”.
TARJETA DE PRODUCCIÓN.
TARJETA DE MOVIMIENTO.

Ahora una de las tarjetas de producción del centro de trabajo 1 ha sido asignada, lo que permitirá producir y usar una parte de la materia prima del centro de trabajo1; además, se ha liberado una tarjeta de movimiento para ese material, como se muestra la siguiente figura:


Producción para el centro de trabajo # 1
Centro De trabajo 1
Centro de trabajo 2
1. El centro # 1 produce una parte para rellenar el contenedor.
2. La tarjeta de producción se coloca en el contenedor.
3. El contenedor se vacía conforme se utiliza el material, con lo que se "Libera" la tarjeta de movimiento que se le había colocado.
TARJETA DE PRODUCCIÓN.
TARJETA DE MOVIMIENTO.

Este proceso continúa ascendiendo hasta llegar a los proveedores, quienes también reciben las tarjetas Kanban de movimiento como señal para su siguiente envió a la fábrica.

Observe que en este sistema no se emiten programas de producción. La producción y el movimiento del material se autorizan solo como una reacción a la utilización de material para manufactura en niveles inferiores. De hecho, la última actividad de producción del producto final, podría ser el cliente recibiendo el material, pero en algunas fábricas tal vez ése sea el único programa formal utilizado. Así mismo, tome en cuenta que las tarjetas circulan únicamente dentro de los centros de trabajo y entre ellos, como se muestra en la siguiente figura:


Resumen del desplazamiento de las tarjetas
Centro De trabajo 1
Centro de trabajo 2
Desplazamiento de tarjetas de movimiento.
Desplazamiento de tarjetas de producción.
TARJETA DE PRODUCCIÓN.
TARJETA DE MOVIMIENTO.

8.4. REGLAS DE KANBAN.

A pesar de que en los sistemas Kanban, no existen programas formales, si incluyen un muy importante conjunto de reglas. Las reglas recomendadas son las siguientes:

1. Todo contenedor de partes debe tener una, y solo una, tarjeta Kanban.
2. No habrá contenedores parcialmente llenos almacenados. Todo contenedor estará completamente lleno, completamente vacío, o en proceso de llenado o vaciado.
3. Esta regla facilita la contabilidad del inventario. No es preciso contar las partes, solo se contabilizan los contenedores y se multiplica su número por la cantidad de unidades que caben en cada contenedor.
4. No habrá producción, ni movimiento sin autorización, la cual está implícita en la colocación o retiro de las tarjetas Kanban.
5. Las tarjetas Kanban "pertenecen" al centro de trabajo.
6. No se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes.
7. Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario.
8. Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente.
9. Balancear la producción.
10. Kanban es un medio para evitar especulaciones, debido a que para los trabajadores se convierte en una fuente de información para producción y transporte, por lo tanto no se vale especular sobre si el proceso subsecuente va a necesitar más material la siguiente vez, tampoco, el proceso subsecuente puede preguntarle al proceso anterior si podría empezar el siguiente lote un poco más temprano, ninguno de los dos puede mandar información al otro, solamente la que está contenida en las tarjetas Kanban.
11. Estandarizar y Racionalizar el Proceso.

8.5. NÚMERO DE TARJETAS KANBAN.

Existe un método relativamente sencillo para determinar el número de tarjetas que se deben utilizar en el sistema. La fórmula es:

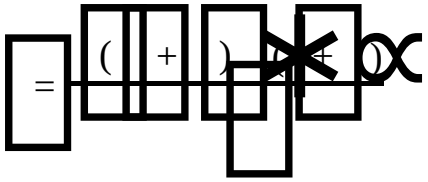
$$y = \square * (\square + \square) * \square$$

Donde: y = número de tarjetas Kanban.
D = demanda por unidad de tiempo.
T = tiempo de espera para remplazar el contenedor.

x = factor de seguridad (expresado como decimal; por ejemplo, 0.20 representa un factor de seguridad de 20%).
C = tamaño del contenedor (cantidad de piezas que contiene).

Número de Contenedores Kanban.

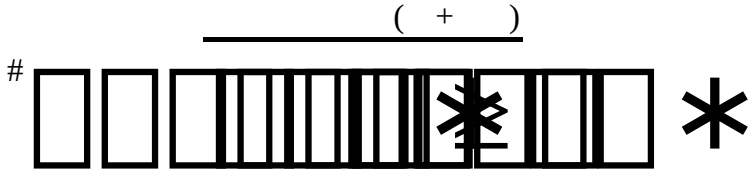
Así mismo se puede utilizar esta fórmula alternativa para determinar el número de Tarjetas Kanban o Contenedores Kanban.



Donde:

: Número de contenedores dedicados a una parte.
: Demanda diaria esperada para la parte en unidades.
: Tiempo promedio de espera durante el proceso de producción más el tiempo de manejo de materiales por contenedor, en fracciones de día.
· Tiempo de procesamiento promedio por contendor, en fracciones de día.
: Cantidad en un contenedor estándar de las partes.
: Una variable de política que refleja la eficiencia de las estaciones de trabajo que producen y utilizan la parte.

Número de Kanbans en Circulación.



Donde:

DMU: Demanda media por unidad de tiempo durante el periodo congelado tratado.
TR: Tiempo de reposición de un contenedor (transporte, producción, esperas).
CS: coeficiente de seguridad.
CC: capacidad o tamaño del contenedor.
CS y CC: son establecidos por la gerencia para controlar el inventario.

Si bien estas fórmulas son útiles, en la práctica mucha gente prefiere comenzar el proceso con suficiente material en el sistema (tanto en cuestión de contenedores como de tarjetas Kanban), ya que esto les hace sentirse más cómodos. Esta "comodidad" se basa en que el sistema tiene suficiente material de respaldo contra

casi todas las incertidumbres que suelen presentarse. Aunque muchas veces ésta es una buena manera de comenzar mientras la gente se acostumbra al sistema y se siente cómoda con su funcionamiento, la clave es nunca permitir que el sentimiento de comodidad permanezca durante mucho tiempo. Los administradores, sobre todo, necesitan comenzar con la reducción sistemática del inventario para exponer los problemas y solucionarlos tan pronto se evidencien.

Alternativas a las tarjetas Kanban.

A partir del desarrollo e implementación exitosa de los sistemas Kanban, muchas fábricas han creado sus propias alternativas; por ejemplo:

- Sistemas de tarjetas únicas. En ellos se utilizan únicamente tarjetas de producción, y el contenedor vacío sirve como señal de desplazamiento.
- Códigos de color en los contenedores. Cada color designa un artículo.
- Espacios de almacenamiento específicos. Funcionan limitando la cantidad que será almacenada, e indicando de manera visible cuando se necesita más.
- Sistemas de cómputo. Muchas veces incluyen códigos de barras en el contenedor, que sirven como generadores de señal.

8.6. VENTAJAS, LIMITACIONES Y FUNCIONAMIENTO.

Debido a que el sistema Kanban (cuando se le aplica correctamente) permite un inventario controlado de contenedores relativamente pequeños existe una gran posibilidad de usarlo para promover la mejora continua de procesos. De manera específica, siempre que el proceso trabaje sin dificultades durante un periodo amplio, existe la posibilidad de que se presente demasiado inventario en el sistema. A menudo se utiliza la analogía de un rio. Si el nivel del agua es lo suficientemente alto, cubrirá todas las rocas del rio y parecerá que corre con fluidez sin ninguna obstrucción. En la analogía, el agua es el inventario y las rocas son los problemas del proceso: falta de calidad, habilidades de los trabajadores, descomposturas del equipo, etc.

El método consiste en eliminar gradualmente el agua, hasta que la primera “roca” quede expuesta y, por lo tanto, sea posible determinar cuál es el obstáculo más importante y establecer la prioridad para trabajar en él. Por supuesto, sería peligroso eliminar demasiada “agua” de una sola vez, debido a que los obstáculos pueden detener el flujo por completo. Aquí es donde el tamaño de lote pequeño

que utilizan los sistemas Kanban constituye una ventaja. Al retirar una tarjeta Kanban se eliminara un contenedor y, como los contenedores son pequeños, el impacto de la eliminación también será reducido. Lo importante de esto es que tarde o temprano surgirán algunos problemas en el proceso mismo que señalaran el siguiente blanco de los esfuerzos de mejora de procesos de JIT. Por supuesto, una vez que el problema de producción se evidencia, la eliminación de inventario deberá detenerse o el problema solo empeorara de hecho, puede ser provechoso permitir cierta acumulación de inventario, de manera que el flujo de producción pueda ser fluido mientras se resuelve el problema expuesto. Es evidente que una vez que el problema se resuelva, el método gradual de reducción de inventario deberá continuar en acción.

8.7. PROBLEMAS DE APLICACIÓN.

Problema 1.

"PeruMotors" aplica un sistema Kanban en sus instalaciones de automóviles en Alemania. Esas instalaciones funcionan 8 horas diarias para producir el "Peruanito", el automóvil que sustituirá al obsoleto, aunque enormemente popular "escarabajo". Supongamos que una parte determinada requiere 150 segundo de procesamiento en la célula de máquinas 33B y un contenedor de partes permanece allí un tiempo de espera de 2.4 horas La gerencia ha autorizado un "colchón" de 10% para afrontar situaciones inesperadas. La capacidad de cada contenedor es de 20 partes y se ha autorizado un total de 10 contenedores. ¿Cuánta demanda diaria se podrá satisfacer con este sistema?

Solución:

Se trabaja 8hrs y los tiempos deben ser expresados en fracción de día.

Tiempo de procesamiento del contenedor:

P =150sg x (1hr/3600s) x (1 día/8hrs) x 20 = 0.1042

Tiempo promedio de espera contenedor:

W= 2.4 hrs x (1 día/8hrs) = 0.3

Alfa=0.1, C=20, K=10

10 = d x (0.3 + 0.1042) x (1.1 / 20) = =⇉ d = 450 und / día.

Problema 2.

Una empresa ensambla sistemas de suspensión para camiones. Un contenedor típico demora 0.02 días en procesarse y 0.08 días entre manipuleo y espera durante su ciclo de fabricación. La demanda diaria de la parte es de 2000 unidades. La gerencia considera que la incertidumbre de la demanda requiere de un 10% de stock de seguridad. En cada contenedor hay 22 partes.

a) ¿Cuántos Kanbans deberían ser autorizados?
b) Una propuesta de redistribución de planta disminuir el tiempo de manipuleo y espera por contenedor para 0.06 días. ¿Cuántos Kanbans son necesarios en este caso?

Solución:

a) [illegible]

Se deben autorizar como mínimo 10 Kanbans.

b) [illegible]

En este caso son necesarios 8 Kanbans.

Problema 3.

Se tiene un ciclo de fabricación clásico (sistema push), donde se ejecutan cuatro fases de fabricación consecutivas. Con lotes de 1000 unidades cada uno.

Tiempo de proceso por cada fase: 7 seg. /unid.
Tiempo de producción: 8 h.

¿Qué ventajas se puede obtener si aplicamos un sistema Kanban?

Solución:

Supongamos que reducimos el tiempo de producción al mínimo posible. Esto se puede lograr trabajando con lotes de una sola unidad y limitando el número de unidades a una por cada fase.

Tiempo de proceso por cada fase: 7 seg. /unid.
Tiempo de producción: 0.5 min.

Las ventajas obtenidas son:

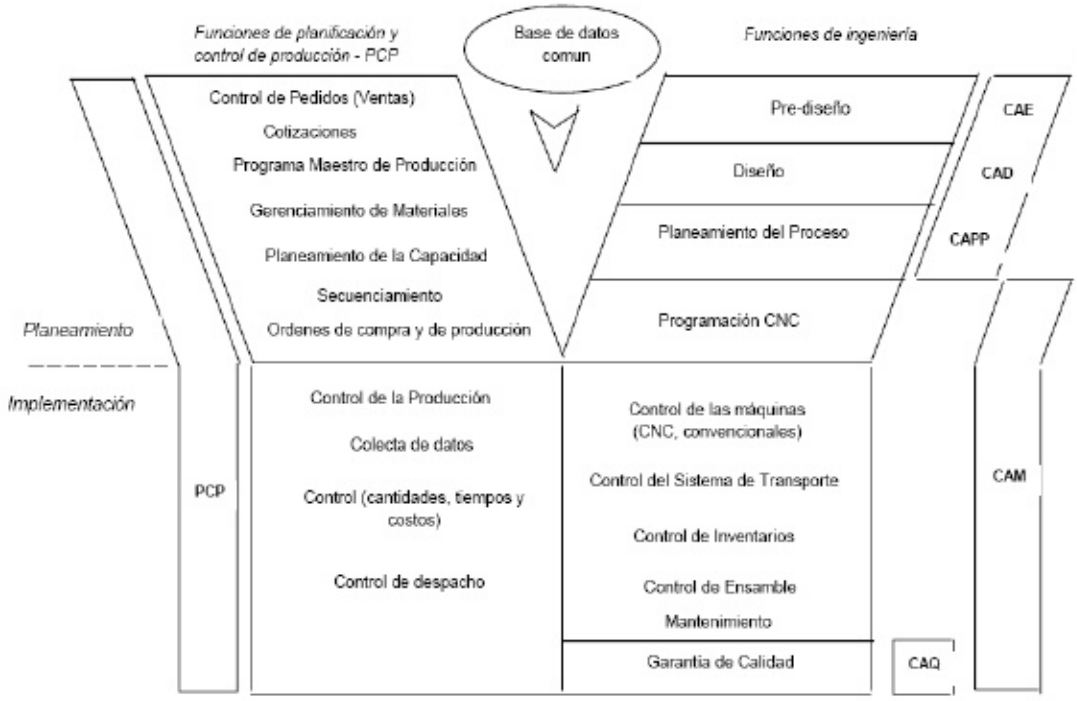
- Si tenemos que reparar el material o, lo que es peor todavía, rechazarlo, el número de piezas afectadas será de 4 en vez de 4000.
- El coste de mantener el material en stock es mil veces menor de lo que sería para lotes de 1000 unidades.
- Si el cliente encarga un tipo de producto distinto, y lo desea recibir con urgencia, en el caso de lotes de una unidad podemos completar la fabricación antes de comenzar con el nuevo producto.
- Cuando se mantiene en inventario grandes cantidades de componentes, ya sea dentro del ciclo de fabricación o bien en almacén, existe siempre la posibilidad de que se vuelvan obsoletas.
- Si el cliente desea modificar el componente que se está fabricando, y estamos utilizando lotes de una unidad, podemos dar respuesta a su petición treinta segundos después de recibirla.
- Cuando se almacenan componentes, especialmente en una línea de fabricación, existe el riesgo de que se mezclen con otros componentes en apariencia del mismo tipo, pero diferentes.

CAPÍTULO 9. TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE MANUFACTURA

9.1. ENTORNO DE LAS TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE MANUFACTURA Y LAS NUEVAS TENDENCIAS.

La Manufactura Integrada por Computadora (CIM, por sus siglas en inglés), es un conjunto de tecnologías blandas y duras que actúan de forma integrada.

Una herramienta para el análisis y estructuración de este conjunto es provista por el Modelo Y (Scheer, 1993) esquematizado en la siguiente Figura, el cual representa al conjunto de los elementos del CIM.

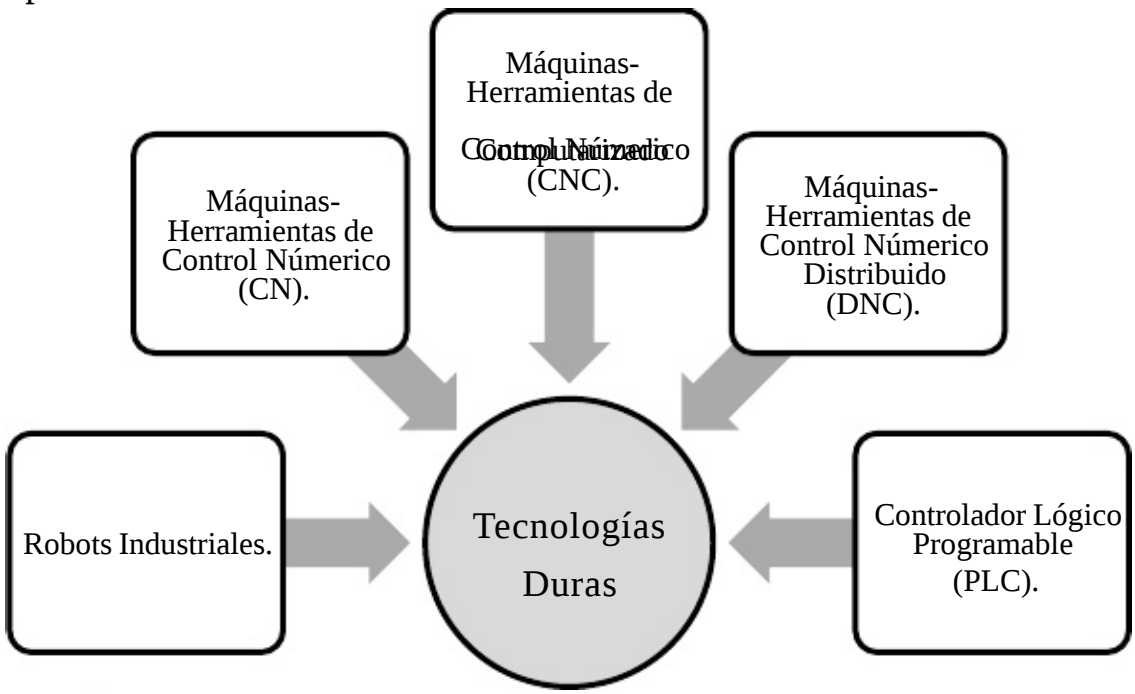


En este modelo se integran las áreas de ingeniería de producto, ingeniería de proceso, planificación de proceso, producción y ventas/marketing y se asocian tecnologías a cada una de estas áreas. Asimismo, el modelo presenta tecnologías asociadas a la función de planeamiento en estas áreas y tecnologías asociadas a la ejecución o implementación.

Cabe resaltar que, de acuerdo al sector industrial, la configuración específica de cada una de estas tecnologías presenta particularidades y, en este sentido, el Modelo Y representa un enfoque genérico aplicable a cualquier sector industrial.

En particular, para el sector metal-mecánico existe un conjunto de tecnologías avanzadas (UNIDO; 1989; Bessant, 1991; Salles Costa y Caulliraux, 1995) que posibilitan automatizar e integrar prácticamente todas las funciones de la empresa.

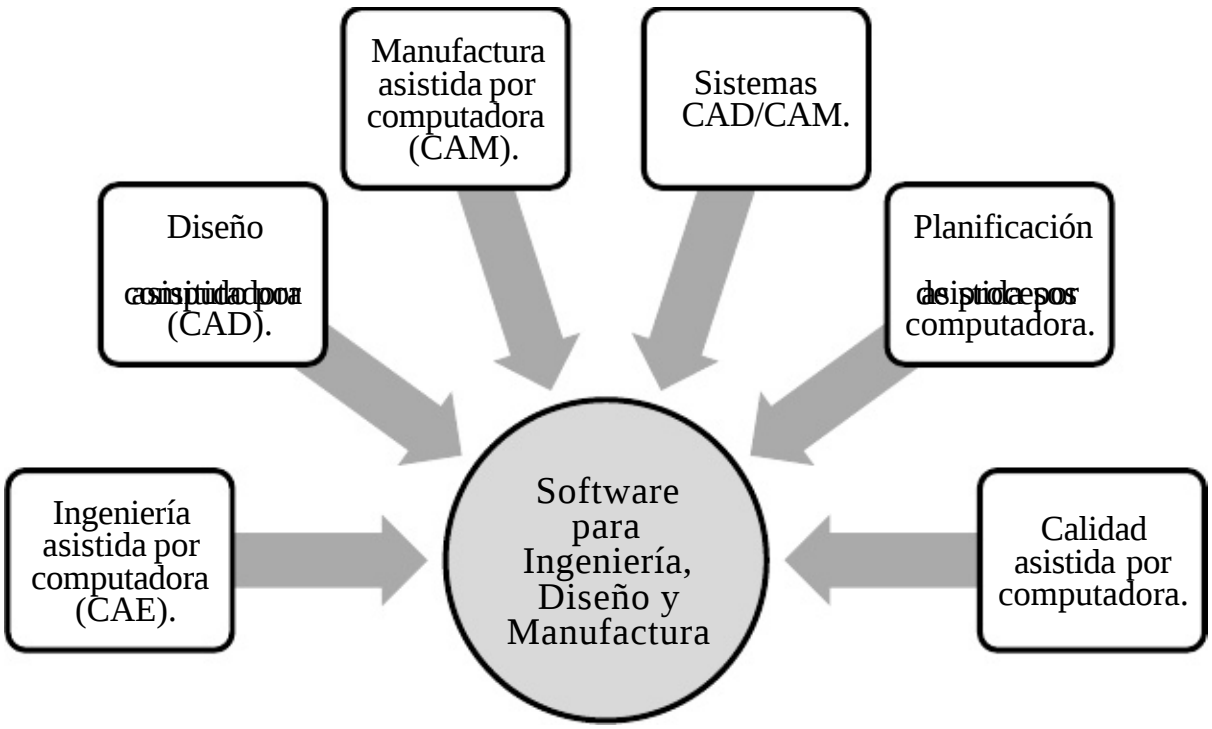
Al nivel de las TECNOLOGÍAS DURAS se tienen aquellas que incorporan algún tipo de control de base microelectrónica que reemplaza el control manual del operador en el proceso. Entre ellas se tiene los robots industriales, las máquinas-herramienta de control numérico (numerical control - NC), de control numérico computadorizado (computerized numerical control - CNC) y de control numérico distribuido (distributed numerical control - DNC). En este último caso, las operaciones de varias máquinas-herramienta CNC son controladas por una o varias computadoras. Asimismo, a este nivel se tienen los sistemas flexibles de manufactura (flexible manufacturing system - FMS), los cuales integran tecnologías para el transporte y manipuleo de materiales, tales como vehículos guiados por computadora (automated guided vehicle - AGV), transporte de herramientas, dispositivos de carga y descarga de materiales a las máquinas y un sistema de planificación y control administrado por una red de computadoras.


Máquinas-Herramientas de Control Numérico Computarizado (CNC).
Máquinas-Herramientas de Control Numérico (CN).
Máquinas-Herramientas de Control Numérico Distribuido (DNC).
Robots Industriales.
Tecnologías Duras
Controlador Lógico Programable (PLC).

Igualmente, al nivel de estas tecnologías duras se tienen aquellas para el almacenamiento y recogida de materiales (automated storage/retrieval system - AS/RS) y tecnologías para el control de procesos de producción, tanto continuos

como discretos, tales como el controlador lógico programable (programmable logical controller- PLC).

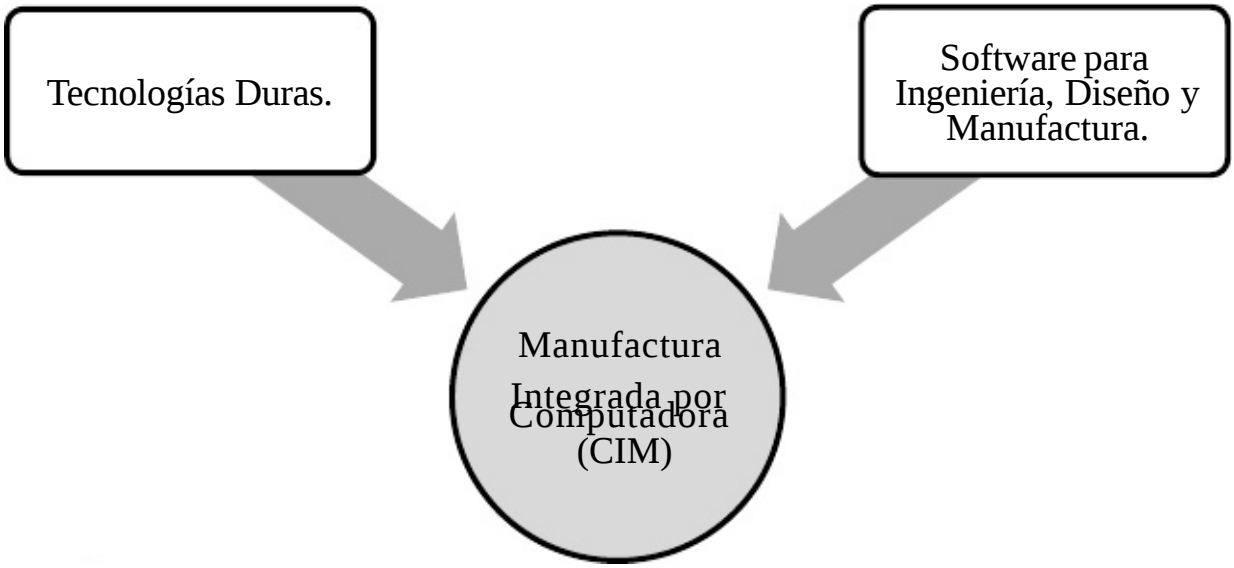
Por otro lado, en términos de SOFTWARE PARA INGENIERÍA, DISEÑO Y MANUFACTURA se tiene toda la familia "computer-aided", entre las cuales se encuentran la ingeniería asistida por computadora (computer-aided engineering - CAE) basada en el método de los elementos finitos; el diseño asistido por computadora (computer-aided design - CAD), en el cual las varias tareas relacionadas al dibujo y al diseño han sido gradualmente integradas en estos sistemas; la manufactura asistida por computadora (computer-aided manufacturing - CAM) que define la lista de instrucciones a ser procesadas por las máquinas de control numérico; los sistemas CAD/CAMlos cuales integran las funciones de diseño y manufactura; la planificación de procesos asistida por computadora (computer-aided planning process - CAPP), que permite definir las rutas de los procesos de fabricación y la calidad asistida por computadora (computer-aided quality assurance - CAQ).


Manufactura asistida por computadora (CAM).
Sistemas CAD/CAM.
Diseño asistido por computadora (CAD).
Planificación asistida por computadora.
Ingeniería asistida por computadora (CAE).
Software para Ingeniería, Diseño y Manufactura
Calidad asistida por computadora.

Al nivel de las funciones de planificación y control de la producción, se tiene los sistemas de planificación de los recursos de manufactura (Manufacturing resources planning - MRP II), los cuales sobre una base de datos común involucran a las funciones de control de pedidos de los clientes, determinación de

costos y precios, programación maestra de la producción, gestión de materiales, planificación de la capacidad, emisión de ordenes de producción y de compra.

Finalmente, actuando en la integración de todas estas funciones y tecnologías, se tiene la MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA (CIM) la cual existe una base de seguimiento y control por computadora de todos los aspectos del proceso de manufactura, con una base de datos común y con comunicación a través de redes de computadoras. La integración puede ir más allá de los límites de la empresa a través del uso de tecnologías tales como el intercambio electrónico de datos (electronic data interchange - EDI), basado en un estándar internacional de comunicación para el flujo de documentos entre entidades, la cual permite integrar la información entre los actores de la actividad empresarial tales como clientes, proveedores, bancos, y transportistas, entre otros.

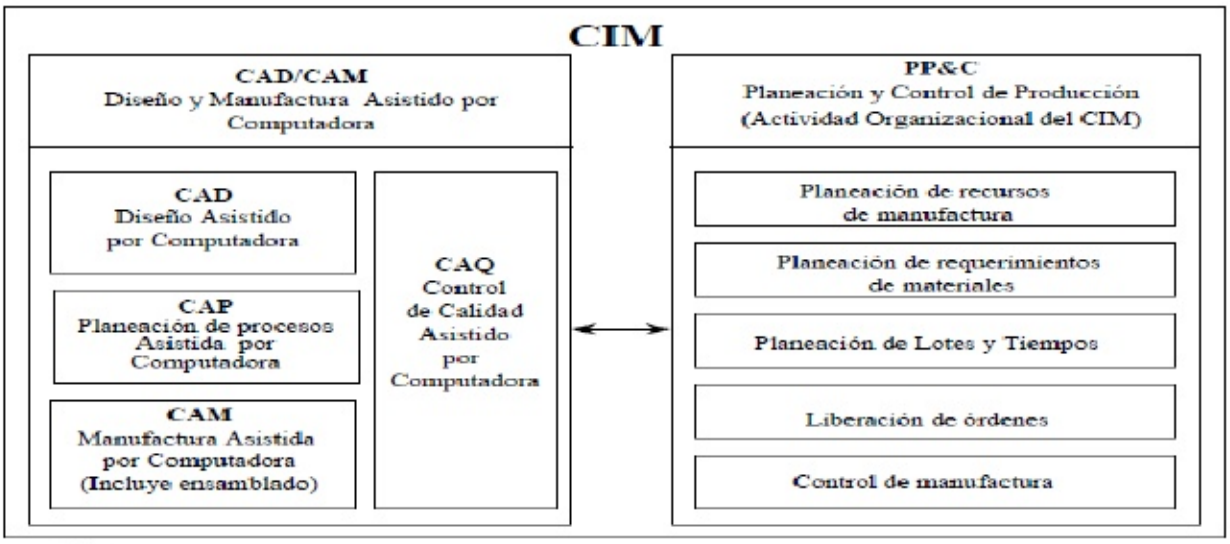


En este sentido, se observa que la manufactura integrada por computadora representa un conjunto complejo y heterogéneo de tecnologías blandas y duras que actúan en las diferentes funciones de la empresa y que involucra a varios campos de la ingeniería.

9.2. MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA (CIM).

Bajo el nombre de CIM se engloba a un conjunto deaplicaciones informáticas cuyo objetivo es automatizar las diferentes actividades de una empresa industrial, desde eldiseño de productos hasta su entrega al cliente y posteriorservicio.

El objetivo de los sistemas CIM, es tratar de integrar lasdistintas áreas funcionales de una organización productora debienes a través de flujos de materiales e información, mediantela automatización y coordinación de sus distintas actividades,utilizando el soporte de plataformas de "hardware","software" y comunicación. La siguiente figura muestra el entorno del CIM:



Niveles jerárquicos de un CIM:

- Nivel de controlador de planta. Es el más alto nivel de la jerarquía de control, es representado por la(s) computadora(s) central(es) (mainframes) de la planta que realiza las funciones corporativas como: administración de recursos y planeación general de la planta.

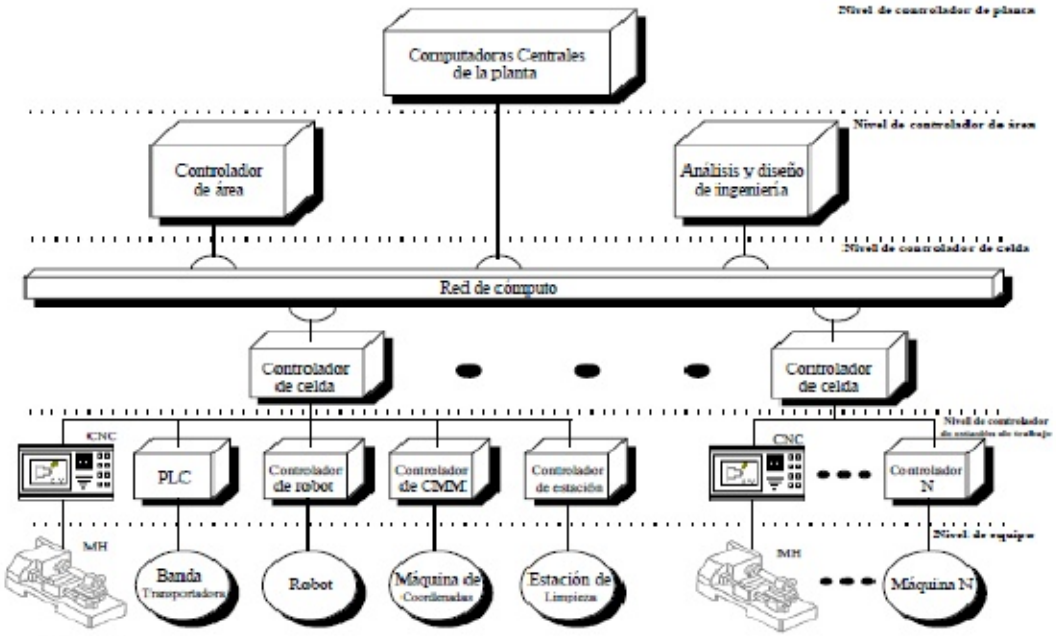
- Nivel de controlador de área. Es representado por las computadoras (minicomputadoras) de control de las operaciones de la producción. Es responsable de la coordinación y programación de las actividades de las celdas de manufactura, así como de la entrada y salida de material. Conectada a las computadoras centrales se encuentra(n) la(s) computador(as) de análisis y diseño de ingeniería donde se realizan tareas como diseño del producto, análisis y prueba. Adicionalmente, este nivel realiza funciones de planeación asistida por computadora (CAP, por sus siglas en inglés), diseño asistido por

computadora (CAD, por sus siglas en inglés) y planeación de requerimientos de materiales (MRP, por sus siglas en inglés).

- Nivel de controlador de celda. La función de este nivel implica la programación de las órdenes de manufactura y coordinación de todas las actividades dentro de una celda integrada de manufactura. Es representado por las computadoras (minicomputadoras, PC´s y/o estaciones de trabajo). En general, realiza la secuencia y control de los controladores de equipo.

- Nivel de controlador de procesos o nivel de controlador de estación de trabajo. Incluye los controladores de equipo, los cuales permiten automatizar el funcionamiento de las máquinas. Entre éstos se encuentran los controladores de robots (RC´s), controles lógicos programables (PLC´s), CNC´s, y microcomputadores, los cuales habilitan a las máquinas a comunicarse con los demás (incluso en el mismo nivel) niveles jerárquicos.

- Nivel de equipo. Es el más bajo nivel de la jerarquía, está representado por los dispositivos que ejecutan los comandos de control del nivel próximo superior. Estos dispositivos son los actuadores, relevadores, manejadores, switches y válvulas que se encuentra directamente sobre el equipo de producción. De una manera más general se considera a la maquinaria y equipo de producción como representativos de este nivel.



9.3. CONTROL NUMÉRICO (NC).

Se refiere al modo de operación en la cual múltiples máquinas de CNC y otros equipos de producción (máquinas de medición, robots, etc.) son conectados a una computadora.

La transmisión directa de datos, elimina el medio de almacenamiento usado tradicionalmente como disquetes. La característica esencial de un sistema DNC es la administración y control de información para múltiples máquinas de DNC, en la cual, la computadora puede llegar a asumir responsabilidad sobre funciones del CNC.

9.6. DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD).

Puede ser definido como la actividad que involucra el uso efectivo de la computadora para crear, modificar o documentar un diseño de ingeniería.

CAD es comúnmente asociado con el uso interactivo de un sistema gráfico computacional llamado sistema CAD.

El CAD proporciona gráficos interactivos de apoyo al diseño de productos y componentes, herramientas y especificaciones. Un diseñador, con una pantalla de alta resolución, puede generar diferentes vistas de los ensambles y componentes, obtener gráficos en tres dimensiones, gráficos de corte por secciones, ampliar zonas concretas, rotarlas, etc.

Estos diseños gráficos permiten a los ingenieros de fabricación, proveedores y clientes, formarse una idea de cómo va a ser el producto y facilitan, por tanto, el aporte de sugerencias con anterioridad a ser fabricado. También contribuyen a que el producto pueda ingresar rápidamente al mercado, ayudando además, a sacar a luz problemas que, de otro modo, no aparecerían hasta después de lanzado.

9.7. FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM).

Implica el uso de computadoras para ayudar en todas las fases de la manufactura de un producto, incluyendo la planeación del proceso y la producción, maquinado, calendarización, administración y control de calidad.

Se trata básicamente de sistemas que controlan las operaciones de las máquinas herramientas en una planta industrial, éstas pueden desarrollar varias operaciones, por lo que se les suministran instrucciones desde una computadora en relación a los procedimientos que deberán llevar a cabo para obtener los distintos tipos de artículos.

Entre los beneficios de la aplicación del CAM se encuentran, la posibilidad de utilizar casi por completo la mayor fiabilidad de las máquinas frente a la variabilidad humana, la mayor consistencia entre los distintos ítems fabricados y el ahorro de tiempo provocado por la menor necesidad de tiempo de operarios.

9.8. DISEÑO Y FABRICACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD/CAM).

Cuando CAD y CAM son combinadas en un paquete informático integrado, se alude a ellos con el acrónimo CAD/CAM.

Este sistema integrado permite la consecución de un vínculo entre las computadoras, posibilita que todas las funciones a desempeñar estén alimentadas por una base de datos común que contiene planos, listas de materiales, hojas de ruta y algún otro dato necesario.

El rendimiento de la fabricación puede ser mejorado si, al diseñar un determinado artículo, se tienen en cuenta al mismo tiempo las características del proceso de producción o sus fases, las capacidades de las máquinas, los cambios de herramientas, las necesidades de ajustes de soporte, el montaje, etc. Tanto la ingeniería de diseño y la de fabricación se basan en la definición de los componentes tal como se ha concebido en el diseño; sin embargo, existen algunas diferencias en los enfoques seguidos por cada tipo de ingeniería, es

especialmente importante analizar la información integralmente, los productos de éxito deben tener diseños que puedan ser fabricados de forma económica.

La introducción de los sistemas CAD/CAM han permitido a la empresas que lo emplean tengan la capacidad de fabricar sus artículos/partes con una excelente calidad al primer intento.

9.9. INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE).

La modernización de elementos finitos es otra tecnología que puede acelerar el ciclo de desarrollo de los productos.

> Se trata de una técnica de simulación que permite a los ingenieros comprobar ciertas características físicas de un objeto a través de la computadora, evitando de este modo, incurrir en los costos y retrasos de la construcción y prueba de prototipos.

El objetivo se describe mediante una colección de pequeños elementos finitos que han de unirse. La presión y deformación que caracterizan a cada elemento se describen mediante ecuaciones, cuya solución simultánea sirve para determinar el comportamiento de la estructura conjunta.

El diseño puede ser revisado, es posible recalcular el rendimiento de las distintas modificaciones. El CAE, permite simular la reacción de una pieza ante diferente fuerza y tensiones.

CAPÍTULO 10. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ESBELTOS

10.1. ¿QUÉ ES LEAN?

"Lean" es una palabra inglesa que se puede traducir como "magro", o "esbelto". Aplicándolo a un sistema productivo significa "ágil", "flexible", es decir, la capacidad de adaptarse a las necesidades del cliente.

La filosofía Lean tiene como objetivo crear actividades, procesos de trabajo e incluso organizaciones eficientes, sin despilfarros y coste mínimo, en las que prime la rapidez en la capacidad de respuesta, la visión en el cliente y la mejora continua.

10.2. EL CONCEPTO DE LEAN MANUFACTURING.

Para definir Lean Manufacturing, es necesario remitirse a las investigaciones iniciales desarrolladas en el IMVP (InternationalMotor Vehicle Program)del MIT, las cuales, a finales de la década del setenta, lograron descubrir las diferencias entre la producción en masa de los Estados Unidos y el sistema de producción Toyota del Japón.

Producción en Masa - EEUU	Producción Toyota - Japón
· Altos Volúmenes de producción. · Poca variedad. · Poca participación de los trabajadores. · Cero polivalencia.	· Mejoramiento continuo de sus actividades. · Los sistemas a prueba de errores. · Los sistemas SMED. · Altos niveles de estandarización. · Alta participación de los trabajadores. · Pocos o nada de inventarios. · Controles de calidad en la fuente.

Como resultado de este resultado se evidenció la diferencia entre la producción en Occidente y en Oriente, y el mundo occidental debió entender muy bien el concepto, significado y manera de trabajo de los japoneses, para luego dar forma a lo que más tarde se denominaría Lean Manufacturing cuya filosofía era bastante clara en el mundo oriental.

Una de las metas estratégicas de toda empresa debería ser: aplicar técnicas de mejoramiento continuo a sus sistemas productivos e instalaciones, con la participación y el compromiso de todos los integrantes de la organización: directivos y especialmente trabajadores de línea. Las técnicas japonesas de manufactura dan los lineamientos para ver las plantas de producción, desde la óptica del mejoramiento continuo y la reconversión de los procesos.

Esta perspectiva crítica de las plantas de producción en cuanto a su funcionamiento, procesos, productos, servicios hace que se identifiquen y disminuyan los desperdicios de la empresa, que son causados por reproceso, tiempo de espera, movimientos y transporte, exceso de producción, exceso de inventarios y procesamiento.

La clave de los sistemas Lean Manufacturing es lograr que quienes administran la producción trabajen de una manera sistémica, organizada e integrada, aplicando técnicas de mejoramiento continuo de procesos productivos para disminuir y eliminar el desperdicio.

El mejoramiento continuo: se puede definir como "Una filosofía de vida que con la aplicación de técnicas de Ingeniería busca la reducción constante de desperdicios y la participación continua en este proceso de todos los empleados de la planta". También como "La disminución continua y constante de los desperdicios en las empresas".

10.3. OBJETIVOS DE MANUFACTURA ESBELTA.

Los principales objetivos de la Manufactura Esbelta son implantar una filosofía de Mejora Continua que le permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad.

Manufactura Esbelta proporciona a las compañías herramientas para sobrevivir en un mercado global que exige calidad más alta, entrega más rápida a más bajo precio y en la cantidad requerida.

Específicamente, Manufactura Esbelta:

- Reduce la cadena de desperdicios dramáticamente.
- Reduce el inventario y el espacio en el piso de producción.
- Crea sistemas de producción más robustos.
- Crea sistemas de entrega de materiales apropiados.
- Mejora las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad/Beneficios.

La implantación de Manufactura Esbelta es importante en diferentes áreas, ya que se emplean diferentes herramientas, por lo que beneficia a la empresa y sus empleados. Algunos de los beneficios que genera son:

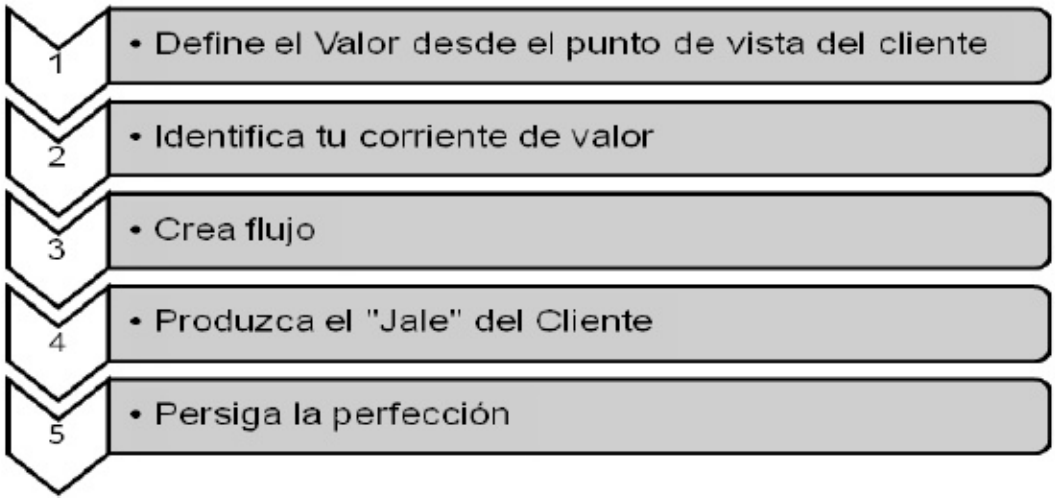
- Reducción de costos de producción.
- Reducción de inventarios.
- Reducción del tiempo de entrega (lead time).
- Mejor calidad.
- Menos mano de obra.
- Mayor eficiencia de equipo.
- Disminución de los desperdicios.

Pensamiento esbelto.

La parte fundamental en el proceso de desarrollo de una estrategia esbelta, es la que respecta al personal, ya que muchas veces implica cambios radicales en la manera de trabajar, algo que por naturaleza causa desconfianza y temor. Lo que descubrieron los japoneses es, que más que una técnica, se trata de un buen régimen de relaciones humanas. En el pasado se ha desperdiciado la inteligencia y creatividad del trabajador, a quien se le contrata como si fuera una máquina. Es muy común que, cuando un empleado de los niveles bajos del organigrama se presenta con una idea o propuesta, se le critique e incluso se le calle. A veces los directores no comprenden que, cada vez que le 'apagan el foquito' a un trabajador, están desperdiciando dinero. El concepto de Manufactura Esbelta, implica la anulación de los mandos y su remplazo por el liderazgo. La palabra líder es la clave.

Los 5 principios del pensamiento esbelto.

Se pueden apreciar en el siguiente gráfico:



1. Define el valor desde el punto de vista del cliente. La mayoría de los clientes quieren comprar una solución, no un producto o servicio.

2. Identifica tu corriente de valor. Eliminar desperdicios encontrando pasos que no agregan valor, algunos son inevitables y otros son eliminados inmediatamente.

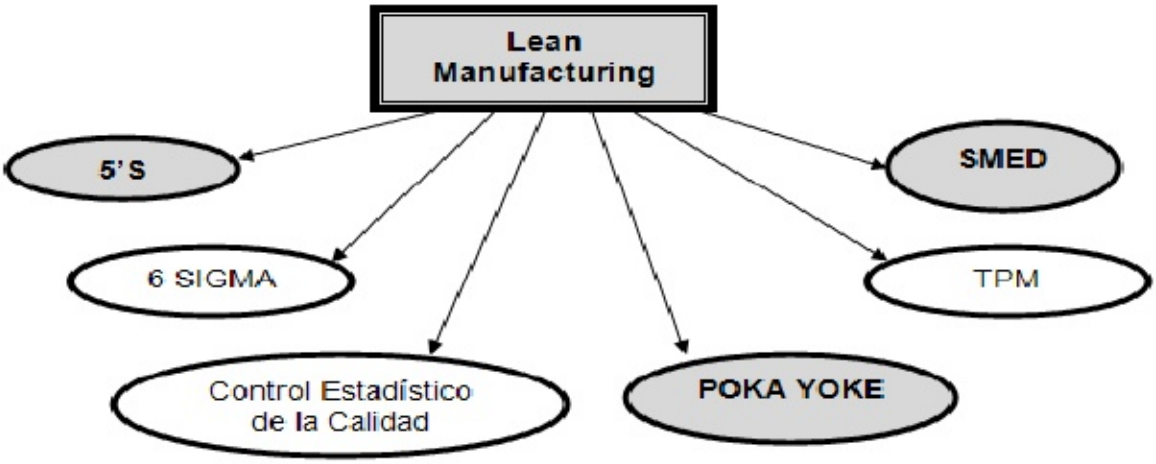
3. Crea flujo. Haz que todo el proceso fluya suave y directamente de un paso que agregue valor a otro, desde la materia prima hasta el consumidor.

4. Produzca el "jale" del cliente. Una vez hecho el flujo, serán capaces de producir por órdenes de los clientes en vez de producir basado en pronósticos de ventas a largo plazo.

5. Persiga la perfección. Una vez que una empresa consigue los primeros cuatro pasos, se vuelve claro para aquellos que están involucrados, que añadir eficiencia siempre es posible.

10.4. TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO CONTINUO COMPRENDIDAS EN EL LEAN MANUFACTURING.

En el siguiente diagrama se muestran las diferentes técnicas de mejoramiento continuo de procesos productivos usadas por el Lean Manufacturing.

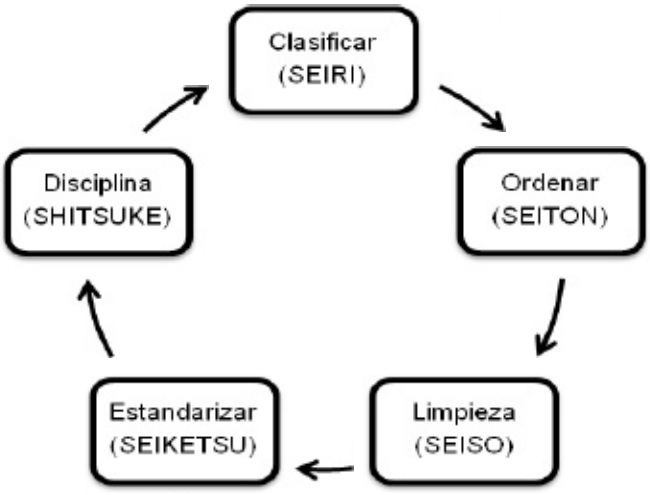


Las técnicas 5's, SMED, POKA YOKE: serán tratadas en el presente capítulo, mientras que las otras técnicas serán tratadas en los capítulos posteriores.

10.5. FILOSOFÍA 5S´S.

Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y más seguras, es decir, se trata de imprimirle mayor "calidad de vida" al trabajo. Las 5'S provienen de términos japoneses que diariamente ponemos en práctica en nuestra vida cotidiana y no son parte exclusiva de una "cultura japonesa" ajena a nosotros, es más, todos los seres humanos, o casi todos, tenemos tendencia a practicar o hemos practicado las 5'S, aunque no nos demos cuenta.

Las 5'S son:



SEIRI: Clasificar, organizar o arreglar apropiadamente.
SEITON: Ordenar.
SEISO: Limpieza.
SEIKETSU: Estandarizar.
SHITSUKE: Disciplina.

Objetivos de las 5'S.

El objetivo central de las 5'S es lograr el funcionamiento más eficiente y uniforme de las personas en los centros de trabajo.

Beneficios de las 5'S.

La implantación de una estrategia de 5'S, es importante en diferentes áreas, por ejemplo, permite eliminar despilfarros, y por otro lado permite mejorar las condiciones de seguridad industrial, beneficiando así a la empresa y sus empleados. Algunos de los beneficios que genera la estrategias de las 5'S son:

- Mayores niveles de seguridad que redundan en una mayor motivación de los empleados.
- Mayor calidad.
- Tiempos de respuesta más cortos.
- Aumenta la vida útil de los equipos.
- Genera cultura organizacional.
- Reducción en las pérdidas y mermas por producciones con defectos.

Definición de las 5'S:

Clasificar (SEIRI). Clasificar consiste en retirar del área o estación de trabajo todos aquellos elementos que no son necesarios para realizar la labor, ya sea en áreas de producción o en áreas administrativas. Una forma efectiva de identificar estos elementos que habrán de ser eliminados es llamada "etiquetado en rojo". En efecto una tarjeta roja (de expulsión) es colocada a cada artículo que se considera no necesario para la operación. Enseguida, estos artículos son llevados a un área de almacenamiento transitorio. Más tarde, si se confirmó que eran innecesarios, estos se dividirán en dos clases, los que son utilizables para otra operación y los inútiles que serán descartados. Este paso de ordenamiento es una manera excelente de liberar espacios de piso desechando cosas tales como:

Herramientas rotas, aditamentos o herramientas obsoletas, recortes y excesos de materia prima. Este paso también ayuda a eliminar la mentalidad de "Por Si Acaso".

Clasificar consiste en:

- Separar en el sitio de trabajo las cosas que realmente sirven de las que no sirven.
- Clasificar lo necesario de lo innecesario para el trabajo rutinario.
- Mantener lo que necesitamos y eliminar lo excesivo.
- Separa los elementos empleados de acuerdo a su naturaleza, uso, seguridad y frecuencia de utilización con el objeto de facilitar la agilidad en el trabajo.
- Liberar espacio útil en planta y oficinas.
- Reducir los tiempos de acceso al material, documentos, herramientas y otros elementos.
- Mejorar el control visual de stocks (inventarios) de repuesto y elementos de producción, carpetas con información, planos, etc.

Ordenar (SEITON). Consiste en organizar los elementos que hemos clasificado como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad. Ordenar en mantenimiento tiene que ver con la mejora de la visualización de los elementos de las máquinas e instalaciones industriales. Algunas estrategias para este proceso de "todo en su lugar" son: pintura de pisos delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, tablas con siluetas, así como estantería modular y/o gabinetes para tener en su lugar cosas como un bote de basura, una escoba, trapeador, cubeta, etc., es decir, "Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar".

El ordenar permite:

- Disponer de un sitio adecuado para cada elemento utilizado en el trabajo de rutina para facilitar su acceso y retorno al lugar.
- Disponer de sitios identificados para ubicar elementos que se emplean con poca frecuencia.
- Disponer de lugares para ubicar el material o elementos que no se usarán en el futuro.
- En el caso de maquinaria, facilitar la identificación visual de los elementos de los equipos, sistemas de seguridad, alarmas, controles, sentidos de giro, etc.
- Facilita el acceso rápido a elementos que se requieren para el trabajo.

- Se mejora la información en el sitio de trabajo para evitar errores y acciones de riesgo potencial.
- La empresa puede contar con sistemas simples de control visual de materiales y materias primas en stock de proceso.
- Eliminación de pérdidas por errores.
- Mayor cumplimiento de las órdenes de trabajo.

Limpieza (SEISO). Limpieza significa eliminar el polvo y suciedad de todos los elementos de una fábrica. Desde el punto de vista del TPM implica inspeccionar el equipo durante el proceso de limpieza. Se identifican problemas de escapes, averías, fallos o cualquier tipo de FUGUAI (defecto). Limpieza incluye, además de la actividad de limpiar las áreas de trabajo y los equipos, el diseño de aplicaciones que permitan evitar o al menos disminuir la suciedad y hacer más seguros los ambientes de trabajo. Para aplicar la limpieza se debe:

- Integrar la limpieza como parte del trabajo diario.
- Asumir la limpieza como una actividad de mantenimiento autónomo: "la limpieza es inspección".
- Se debe abolir la distinción entre operario de proceso, operario de limpieza y técnico de mantenimiento.

Estandarizar (SEIKETSU). El estandarizar pretende mantener el estado de limpieza y organización alcanzado con la aplicación de las primeras 3's. El estandarizar solo se obtiene cuando se trabajan continuamente los tres principios anteriores. En esta etapa o fase de aplicación (que debe ser permanente), son los trabajadores quienes adelantan programas y diseñan mecanismos que les permitan beneficiarse a sí mismos. Para generar esta cultura se pueden utilizar diferentes herramientas, una de ellas es la localización de fotografías del sitio de trabajo en condiciones óptimas para que pueda ser visto por todos los empleados y así recordarles que ese es el estado en el que debería permanecer. La estandarización pretende:

- Mantener el estado de limpieza alcanzado con las tres primeras “S”.
- Enseñar al operario a realizar normas con el apoyo de la dirección y un adecuado entrenamiento.

- Las normas deben contener los elementos necesarios para realizar el trabajo de limpieza, tiempo empleado, medidas de seguridad a tener en cuenta y procedimiento a seguir en caso de identificar algo anormal.

Disciplina (SHITSUKE) Significa evitar que se rompan los procedimientos ya establecidos. Solo si se implanta la disciplina y el cumplimiento de las normas y procedimientos ya adoptados se podrá disfrutar de los beneficios que ellos brindan. La disciplina es el canal entre las 5'S y el mejoramiento continuo. Implica control periódico, visitas sorpresa, autocontrol de los empleados, respeto por sí mismo y por la demás y mejor calidad de vida laboral, además:

- El respeto de las normas y estándares establecidos para conservar el sitio de trabajo impecable.
- Realizar un control personal y el respeto por las normas que regulan el funcionamiento de una organización.
- Promover el hábito de autocontrolar o reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas establecidas.

10.6. CAMBIO RÁPIDO DE HERRAMIENTA (SMED).

SMED: es el acrónimo de Single-Minute Exchange of Die cambio de herramienta en (pocos) minutos. Este concepto introduce la idea de que en general cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos, de ahí la frase single minute (expresar los minutos en un solo dígito). Se entiende por cambio de herramienta el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una serie hasta la obtención de la primera pieza correcta de la serie siguiente; no únicamente el tiempo del cambio y ajustes físicos de la maquinaria.

Tipos de Ajustes u Operaciones.

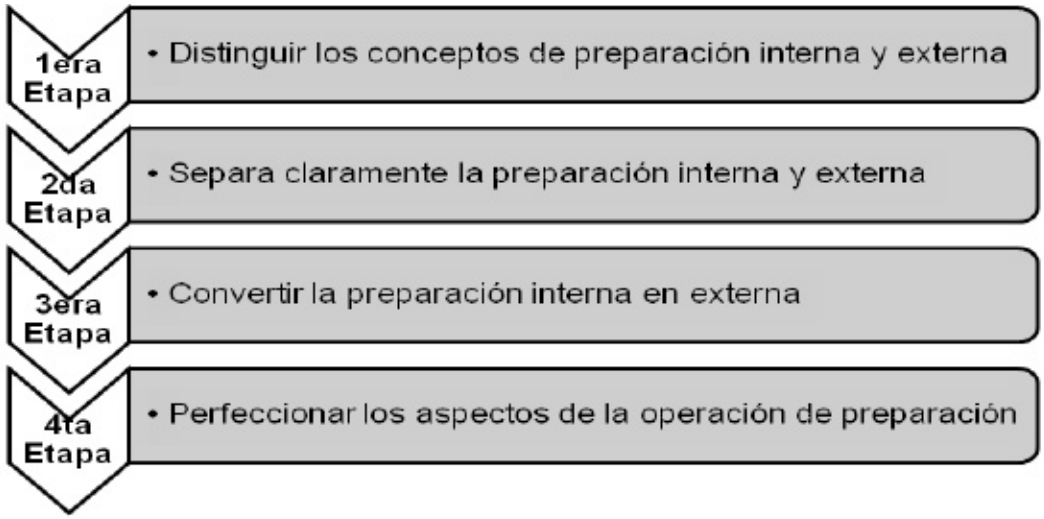
- Ajustes / tiempos internos: corresponde a operaciones que se realizan a máquina parada, fuera de las horas de producción (conocidos por las siglas en inglés IED).

· Ajustes / tiempos externos: corresponde a operaciones que se realizan (o pueden realizarse) con la máquina en marcha, o sea durante el periodo de producción (conocidos por las siglas en inglés OED).

Pasos básicos en el procedimiento de preparación.

1. Preparación, ajustes, post-proceso, verificación de materiales, herramientas, plantillas, calibres, etc. Este primer paso sirve para asegurar que todos los componentes y herramientas deben funcionar correctamente y se encuentran disponibles. Se incluye en este paso el periodo en el cual todos ellos se retiran, guardan, limpian, etc. Aplica el Seiri y Seiton.
2. Montar y desmontar herramientas. En este paso se incluye el retiro de piezas y herramientas después de concluido un lote y la colocación de las partes necesarias para el siguiente.
3. Medidas, montajes, calibraciones. Este paso comprende todas las medidas y calibraciones necesarias para realizar una operación de producción (Check-list).
4. Pruebas y ajustes. En esta etapa los ajustes se efectúan trabajando una pieza de prueba. Los ajustes serán tanto más fáciles cuando mayor sea la presión de las medidas y calibraciones del equipo anterior.
5. La frecuencia duración de las pruebas y ajustes dependen de la habilidad del ingeniero. El mayor reto de esta operación se encuentra en el correcto ajuste del equipo.

Etapas para llevar a cabo un SMED.


1era Etapa
• Distinguir los conceptos de preparación interna y externa
2da Etapa
• Separa claramente la preparación interna y externa
3era Etapa
• Convertir la preparación interna en externa
4ta Etapa
• Perfeccionar los aspectos de la operación de preparación

1ra. Etapa: Distinguir los conceptos de preparación interna y externa.

- Es una fase preliminar. En los ajustes tradicionales, los ajustes internos y externos están mezclados: lo que podría hacerse en externo se hace en ajustes internos. Una buena aproximación es un análisis continuo de producción con un cronómetro. Un sistema más eficaz es utilizar una o más cámaras de vídeo, cuyas filmaciones podrán ser analizadas en presencia de los mismos operarios.
- En un cambio de producción, deben definirse las operaciones a realizar.
- La preparación de la máquina, del puesto de trabajo.
- La limpieza y el orden del puesto de trabajo.
- La verificación de la materia prima y de los productos químicos.
- La correcta regulación del equipo.
- El ajuste a patrones, ventanas referentes de fabricación.
- La realización y la prueba.
- La aprobación y liberación para la producción.

2da Etapa: Separa claramente la preparación interna y externa.
Es la más importante, consiste en distinguir entre ajustes internos y externos.

Para ello se puede utilizar la siguiente regla:
Actividades Internas: Tienen que ejecutarse cuando la máquina está parada.
Actividades Externas: Pueden ejecutarse mientras la máquina está operando.

3era Etapa: Convertir la preparación interna en externa.
El objetivo es transformar los ajustes internos en externos, por ejemplo: preparación de sopletes, ajuste de color, medición de viscosidad, verificación de cantidad de producto, envío de piezas o aviso al taller de problemas, patrones y ventanas en máquina, etc.

Dentro de los cambios tenemos también las tareas repetitivas o que no agregan valor en sí, como es el regular uno o varias mariposas sistemáticamente, para esto podemos acondicionar los equipos siempre y cuando sea necesario.

Es fundamental aquí realizar un detallado listado cronológico de las operaciones que se realizan durante la máquina parada. Para ello es aconsejable el seguimiento de las operaciones en por lo menos 10 lotes distintos.

Luego debe evaluarse detalladamente, cada una de estas operaciones para determinar cuáles pueden moverse y/o simplificarse.

Para eliminar pequeñas pérdidas de tiempo considere las siguientes preguntas:

- ¿Qué preparaciones se necesitan hacer por adelantado?
- ¿Qué herramientas se deben tener a la mano?
- ¿Están las herramientas y plantillas en buenas condiciones?
- ¿Qué tipo de mesa de trabajo es necesaria?
- ¿Dónde deberían los datos y plantillas colocarse después de ser removidos, si serán trasportados?
- ¿Qué tipos de partes son necesarias, cuántas se necesitan?

Tres reglas simples pueden tenerse en consideración al tratar de mejorar tiempos de intervención:

1. Que no se busque por parte o herramienta.
2. No mover cosas innecesariamente, establecer la mesa de trabajo y el área de almacenaje de forma apropiada.
3. No usar las herramientas o repuestos incorrectos.

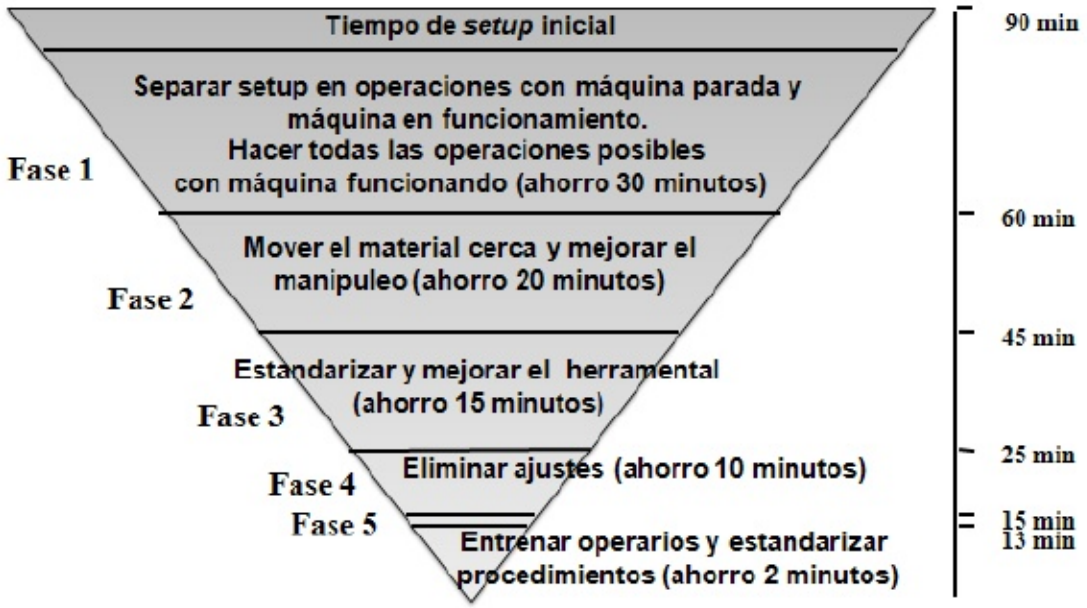
4ta Etapa: Perfeccionar los aspectos de la operación de preparación.
Su objetivo es reducir al mínimo el tiempo de ajustes. La conversión en ajustes externos permite ganar tiempo, pero racionalizando los ajustes se puede disminuir aún más el tiempo de cambio.

Para determinar el logro del método debemos comparar los tiempos previos a la reforma contra los propuesto y validar los mismos con por lo menos 10 lotes de práctica.

Para producir operaciones o mejorarlas es preciso preguntarse:

- ¿Es necesaria la tarea?
- ¿Puede eliminarse?
- ¿Son apropiados los procedimientos actuales?, ¿Son difíciles?
- ¿Puede cambiarse el orden de las tareas?, ¿Pueden hacerse en simultáneo?
- ¿Cuál es la carga de trabajo de las personas que intervienen en la máquina?

El siguiente gráfico muestra la manera de realizar ahorros de tiempo, usando la metodología SMED.


Tiempo de *setup* inicial
90 min
Separar setup en operaciones con máquina parada y máquina en funcionamiento.
Hacer todas las operaciones posibles con máquina funcionando (ahorro 30 minutos)
Fase 1
60 min
Mover el material cerca y mejorar el manipuleo (ahorro 20 minutos)
Fase 2
45 min
Estandarizar y mejorar el herramental (ahorro 15 minutos)
Fase 3
25 min
Eliminar ajustes (ahorro 10 minutos)
Fase 4
Fase 5
15 min
13 min
Entrenar operarios y estandarizar procedimientos (ahorro 2 minutos)

10.7. SISTEMAS POKA YOKE.

Es una técnica desarrollada por el ingeniero Shingeo Shingo en los 60`s y significa a prueba de errores .

La palabra POKA YOKE en español significa Poka: Inadvertido, Yoke: Prevenir.

> Los Sistemas POKA YOKE, significan el desarrollo de mecanismos y/o dispositivos para la obtención de cero defectos en los productos que fabrican las empresas.

La causa de los defectos recae en los errores de los trabajadores y los defectos son el resultado de continuar con dichos errores.

El enfoque Poka-Yoke propone atacar problemas desde su causa y actuar antes de que ocurra tal efecto, entendiendo su mecánica haciendo los errores muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y corrija a tiempo (prevenir errores humanos).

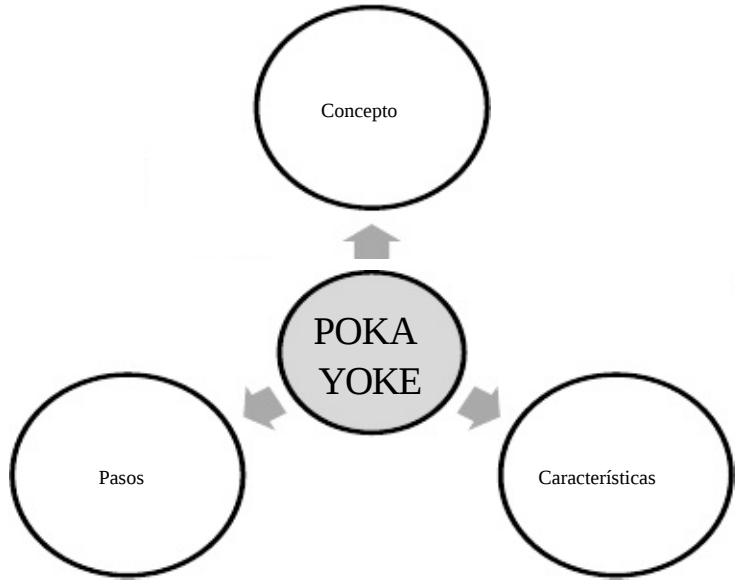
El concepto es simple, sino se permite que los errores se presenten en la línea de producción; entonces la calidad será alta y evitará retrabajos. Estos sistemas llevan a cabo 100% de la inspección del proceso.

reflejante del sensor ante la luz reflejada desde el objeto para detectar su presencia.

c) Medidores de presión, vibración, temperatura, corriente eléctrica.

Ventajas del Sistema POKA YOKE.
A continuación, en el diagrama siguiente se presenta las ventajas del sistema POKA YOKE.

Dispositivos Preventivos: no permite error en el proceso.
Dispositivos Detectores: el sistema manda una señal cuando ha una posibilidad de error.



- Identificar y delimitar el problema.
- Generar alternativas.
- Diseños de sistemas.

- Parte del proceso.
- Simples y baratos.
- Sin errores.

Los 8 principios para la mejora básica por el sistema POKA YOKE:

1. Construir la calidad en los procesos.
2. Eliminar todos los errores y defectos inadvertidos.
3. Interrumpir el proceso al hacerlo mal (no conformidad) y comenzar a hacerlo nuevamente.
4. Hacerlo bien y no buscar excusas.
5. Un 60% de las posibilidades de éxito es suficientemente bueno y su alcance aplica en cualquier sistema de manufactura.
6. Las equivocaciones o defectos podrán reducirse a cero si se trabajan sistemas POKA-YOKE, ya sean dispositivos preventivos o detectores.

7. Todos los sistemas Poka-Yoke nacen de la necesidad de una técnica de operación.
8. Utilizar las herramientas de calidad.

Pasos para resolver un problema mediante POKA YOKE

Los pasos para resolver un problema en un sistema de manufactura empleando el sistema POKAYOKE son:

Actividad a desarrollar	Estrategia o método
Seleccionar y delimitar el proceso de manufactura.	Con base a los reportes de calidad y producción. · Quejas de clientes internos. · Observación del proceso.
Identificar problemas. Buscar alternativas de solución.	· 7 herramientas de calidad. · Diseño de experimento.
Diseño del sistema POKA YOKE.	· Diagrama de Ishikawa. · Inspección a prueba en el proceso a mejorar.
Valida su impacto.	· Compara el antes y el después. · Indicadores de manufactura.

CAPÍTULO 11. MEJORA CONTINUA Y SIX SIGMA

11.1. SIGNIFICADO DE SIX SIGMA.

Seis-Sigma representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta.

Como métrica, Seis- Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación.

Como filosofía de trabajo, Seis- Sigma significa mejoramiento continuo de procesos y productos apoyado en la aplicación de la metodología Seis- Sigma, la cual incluye principalmente el uso de herramientas estadísticas, además de otras de apoyo.

Como meta, un proceso con nivel de calidad Seis- Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial, al no producir servicios o productos defectuosos (3.4 defectos por millón).

Otros significados de Seis- Sigma se muestran en la siguiente tabla:

Nivel de Sigma	Defectos	Ejemplo (ortografía)
2	30.85%	1 error/ frase
3	6.68%	1 error/ párrafo
4	0.64%	1 error/ página
5	233/millón	1 error/ capítulo
6	3.4/millón	1 error/ libro

En resumen:

"Seis- Sigma significa mejorar procesos por medio de resolver problemas".

Definición de " Problema".
Un problema es la diferencia que existe entre un estado ideal (objetivo) y un estado real o actual.

Ejemplos:

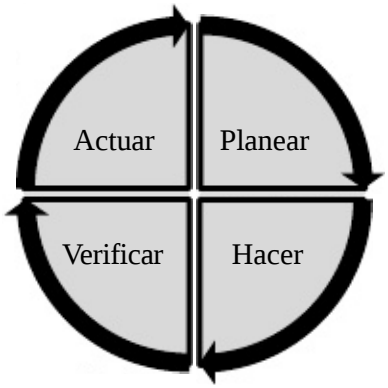
- El desperdicio en cierta operación es de 10%. El objetivo es tener 1%.
- El tiempo de respuesta a llamadas de clientes es de 10 minutos, pero se desea reducirlo a cinco minutos.

En la tabla siguiente se presenta una clasificación de problemas:

Se puede decir que un problema sencillo se resuelve usando las herramientas básicas para la solución de problemas. La aplicación de la metodología Seis-Sigma estaría reservada para los problemas que requieren atención y para los problemas muy difíciles

11.2. EL CICLO SHEWHART/DEMING.

El programa Seis-Sigma se basa en el ciclo de Deming. El ciclo de Deming es un procedimiento para el mejoramiento. Es una guía lógica y racional para actuar en una gran variedad de situaciones, una de las cuales es resolver problemas.

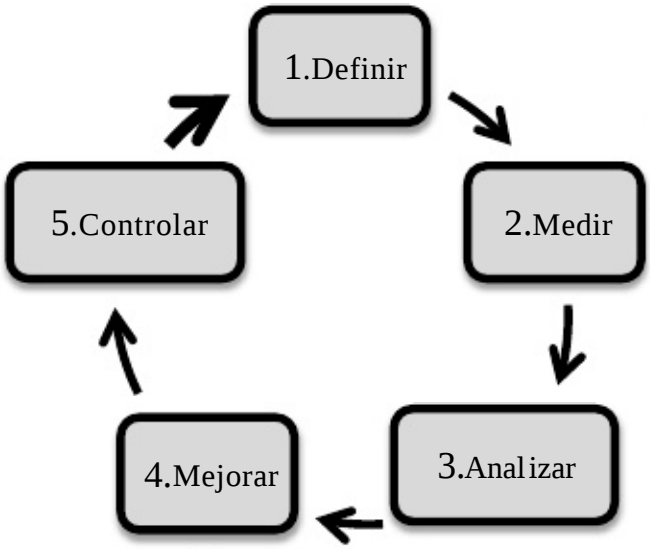


Fases y Pasos de Seis-Sigma.

1. Planear.
   a. Definir el problema/seleccionar el proyecto.
   b. Definir y describir el proceso.
2. Hacer.
   a. Evaluar los sistemas de medición.
   b. Determinar las variables significativas.
   c. Evaluar la capacidad del proceso.
   d. Optimizar y robustecer el proceso.
3. Verificar.
   a. Validar la mejora.
4. Actuar.
   a. Controlar y dar seguimiento al proceso.
   b. Mejorar continuamente.

Existe también otra forma de llamar a las fases de Seis-Sigma con base en lo que se conoce como DMAIC(Define, Measure, Analyse, Improve and Control, o en sus siglas en español Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), tal como se muestra en la siguiente sección.

11.3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SEIS-SIGMA.



1. Definir.
   a. Definir el problema/seleccionar el proyecto. Describir el efecto provocado por una situación adversa, o el proyecto de mejora que se desea realizar, con la finalidad de entender la situación actual y definir objetivos.

2. Medir.
   a. Definir y describir el proceso. Definir los elementos del proceso, sus pasos, entradas, salidas y características.
   b. Evaluar los sistemas de medición. Evaluar la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de repetibilidad, reproducibilidad, linealidad, exactitud y estabilidad.

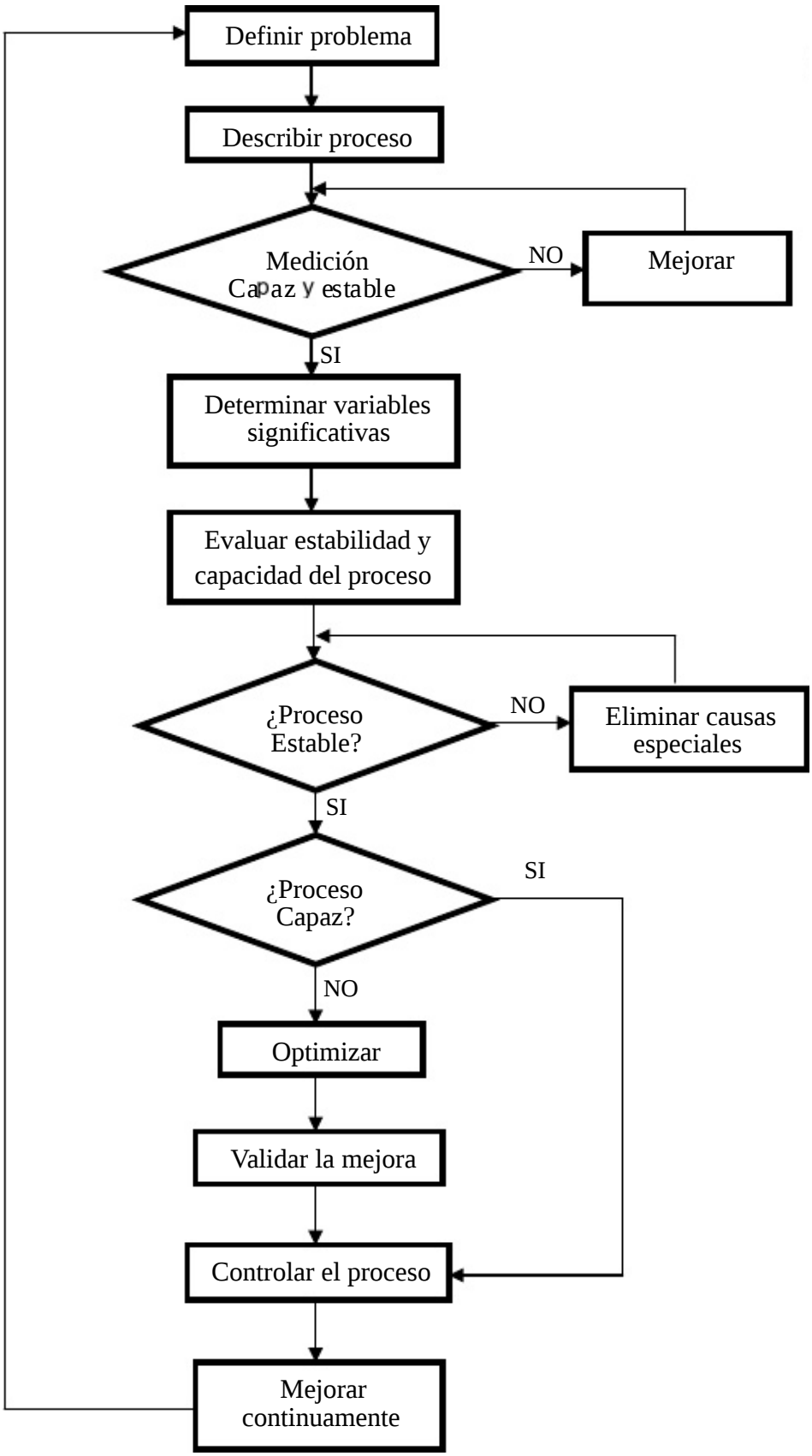
3. Analizar.

   a. Determinar las variables significativas. Las variables del proceso definidas en el inciso a del punto 2 deben ser confirmadas por medio de diseño de experimentos y /o estudios para medir la contribución de esos factores en la variación del proceso. Las pruebas de hipótesis e intervalos de confianza también son útiles para el análisis del proceso.
   b. Evaluar la estabilidad y la capacidad del proceso. Determinar la habilidad del proceso para producir dentro de especificaciones por medio de estudios de capacidad largos y cortos, a la vez que se evalúa la fracción defectuosa.

4. Mejorar.
   a. Optimizar y robustecer el proceso. Si el proceso no es capaz, se deberá optimizar para reducir su variación. Se recomienda usar diseño de experimentos, análisis de regresión y superficies de respuesta.
   b. Validar la mejora. Realizar estudios de capacidad.

5. Controlar.
   a. Controlar y dar seguimiento al proceso. Monitorear y mantener en control al proceso.
   b. Mejorar continuamente. Una vez que el proceso es capaz, se deberán buscar mejores condiciones de operación, materiales, procedimientos, que conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

El diagrama de flujo de los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura:


Definir problema
Describir proceso
Medición
Capaz y estable
NO
Mejorar
SI
Determinar variables
significativas
Evaluar estabilidad y
capacidad del proceso
¿Proceso
Estable?
NO
Eliminar causas
especiales
SI
¿Proceso
Capaz?
SI
NO
Optimizar
Validar la mejora
Controlar el proceso
Mejorar
continuamente

11.4. DEFINIR EL PROBLEMA / SELECCIONAR EL PROYECTO.

Algunas veces al tratar de enfrentar un determinado problema se tienen creencias acerca de lo que está pasando, ideas vagas o simplemente suposiciones. Estas posturas conducen a tener una situación problemática inespecífica a ambigua. La manera de actuar asertivamente y poder definir el problema objetivamente, es recolectar información y pasarla por alguna de las herramientas que se usan para definir un problema. Las más comunes se muestran a continuación:

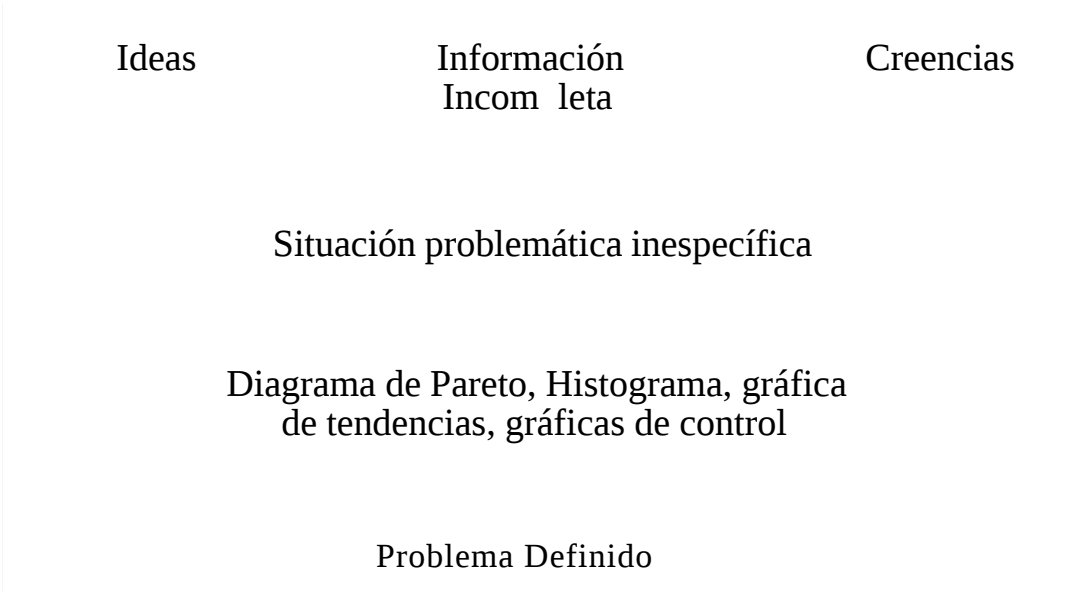


DIAGRAMA DE PARETO.

¿Qué es el Diagrama de Pareto?

El diagrama de Pareto consiste en una gráfica de barras ordenadas de mayor a menor, donde cada barra representa el peso que tiene cada uno de los factores que se analizan.

¿Cuál es el objetivo de un Diagrama de Pareto?

El objetivo del diagrama de Pareto, es presentar información de manera que facilite la rápida visualización de los factores con mayor peso, para reducir su influencia.

¿Cuál es el Principio del diagrama de Pareto?

La mayoría de los problemas se deben a pocas causas. También conocido como80/20, que indica que el 80% de los problemas es originado por el 20% de las causas, y viceversa. Este principio fue enunciado por Wilfredo Pareto, de origen italiano, refiriéndose a un problema económico, postulaba que en su país el 80% de la riqueza la ostentaba el 20% de las personas. El principio no encuentra su fortaleza en el porcentaje exacto sino en la regla de los pocos vitales. Al buscar las causas de los problemas son unos pocos "vitales" los que originan la mayor cantidad de problemas, por lo tanto son los que se deben priorizar y en los que hay que concentrar los esfuerzos para su solución, en lugar de solucionar los muchos "triviales".

Esta herramienta fue popularizada por Joseph Juran y Alan Lakelin, este último formuló la regla 80-20, basado en los estudios y principios de Pareto:

PRINCIPIO DE PARETO

"En todo fenómeno que resulte como consecuencia de varias causas o factores, se encontrara siempre que un pequeño número de causas contribuyen a la mayor parte del efecto".

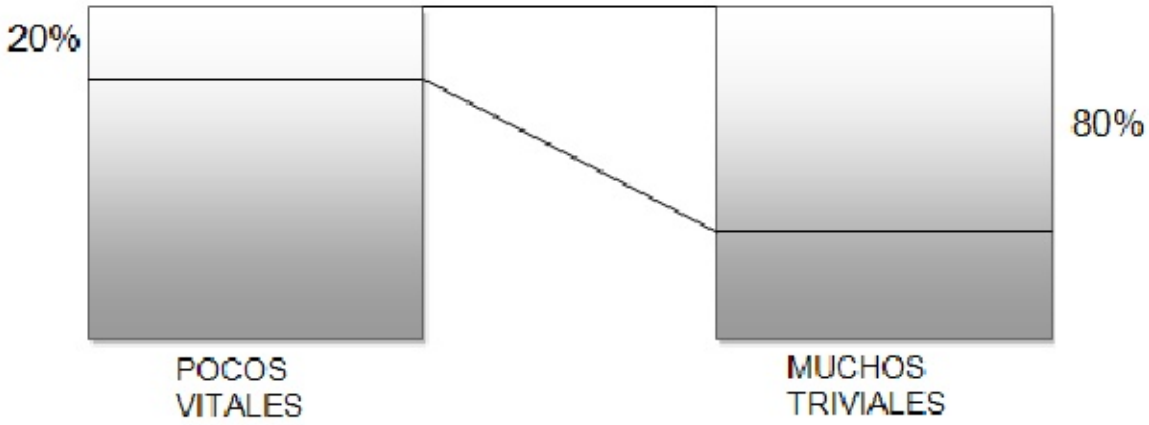
Ejemplo:

- El 20 % de los contribuyentes peruanos pagan el 80% de los impuestos.
- El 20% de los productos de una empresa generan el 80% de las ventas.
- El 20% de las carreteras peruanas soportan el 80% del transporte.

¿Para qué sirve el diagrama de Pareto?

El objetivo del diagrama de Pareto es el identificar los "pocos vitales", o sea del ejemplo anterior, ese 20 %, de tal manera que la acción correctiva que se tome, se aplique donde nos produzca mayor beneficio.

El diagrama de Pareto al catalogar los factores por orden de importancia, facilita la toma de decisiones.



Beneficios:

- Canalizar los esfuerzos hacia "los pocos vitales".
- Ayuda a priorizar los problemas en orden de importancia.
- Es el primer paso para la realización de mejoras.
- Permite la comparación antes/ después, ayudando a cuantificar el impacto de las acciones tomadas para lograr mejoras.
- Promueve el trabajo en equipo ya que requiere la participación de todos los miembros relacionados con el área para analizar el problema.
- El Diagrama de Pareto se utiliza, también, para expresar los cosos que significan cada tipo de defecto y los ahorros logrados, mediante el efecto correctivo llevado a cabo a través de determinadas acciones.

Procedimiento para la aplicación del diagrama de Pareto

1. Identifique el problema o efecto que le interesa analizar.

2. Haga una lista de todas las causas que inciden en el problema, anotando el valor de la contribución de cada causa.

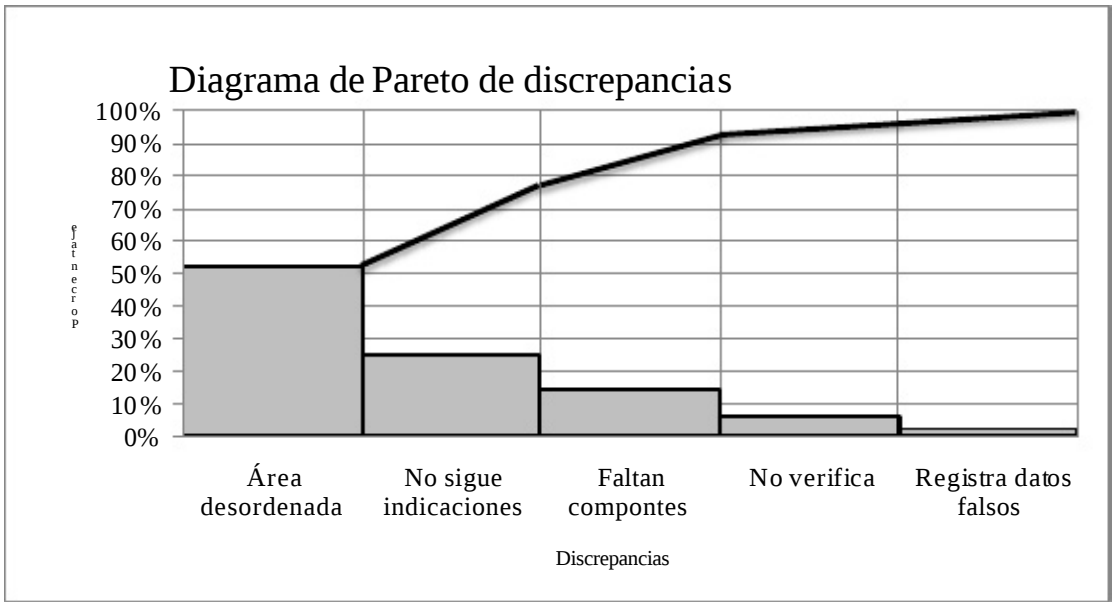
3. Ordene dichas causas en base a su contribución de mayor a menor.

4. Asigne el valor 100% al total del efecto y calcule el porcentaje relativo de la contribución de cada causa, a continuación determine los porcentajes acumulados.

5. Construya el Diagrama de Pareto (eje de las X –causas-, eje de las Y -%- acumulado).

Discrepancias	Frecuencia	Porcentaje %	Acumulado
Area desordenada	25	52.083%	52.083%
No sigue indicaciones	12	25.000%	77.083%
Faltan compontes	7	14.583%	91.667%
No verifica	3	6.250%	97.917%
Registra datos falsos	1	2.083%	100.000%
Total	48		

3. Realizar el Diagrama de Pareto, considerando dos ejes de referencia. En el eje horizontal colocar las discrepancias, y en el eje vertical colocar el porcentaje de cada discrepancia. Dibujar barras que representen los porcentajes de las discrepancias. Incluir la línea quebrada del porcentaje acumulado.



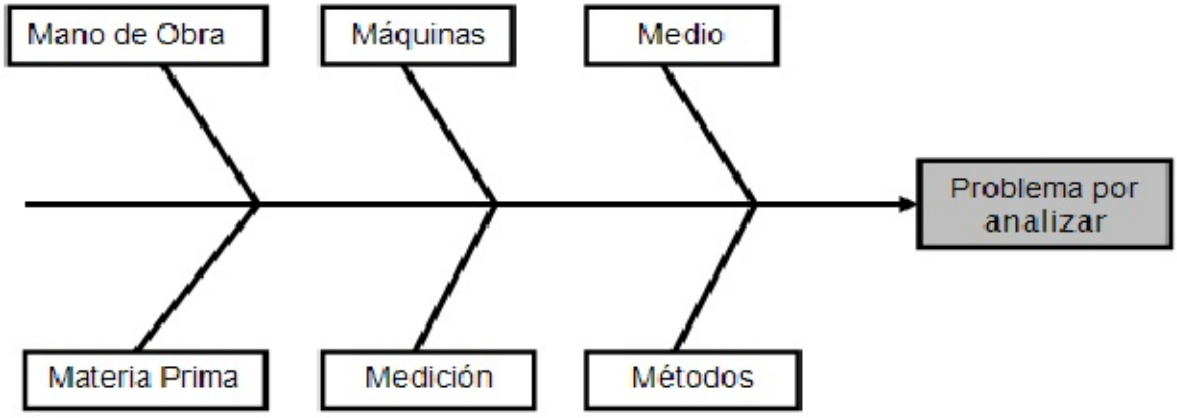
El diagrama de Pareto separa a los factores vitales de los triviales. En este caso, las discrepancias provocadas por “Área desordenada” contribuyen por sí solas con un poco más de la mitad del problema. Añadiendo el peso de las discrepancias provocadas por “No sigue indicaciones”, la contribución aumenta al 77%. Por consecuencia, se debe centrar la atención a reducir en primer lugar las discrepancias generadas por “Área desordenada”.

11.5. DEFINIR Y DESCRIBIR EL PROCESO.

Un proceso es una interacción de gente, materiales, equipos e información que tiene como fin transformar ciertas entradas en salidas específicas. Definir y

3. Materia prima: el material que se usa para producir.
4. Medición: los instrumentos empleados para evaluar procesos y productos.
5. Medio: las condiciones del lugar de trabajo.
6. Maquinaria y equipo: los equipos y periféricos usados para producir.

Formato del diagrama de Ishikawa.

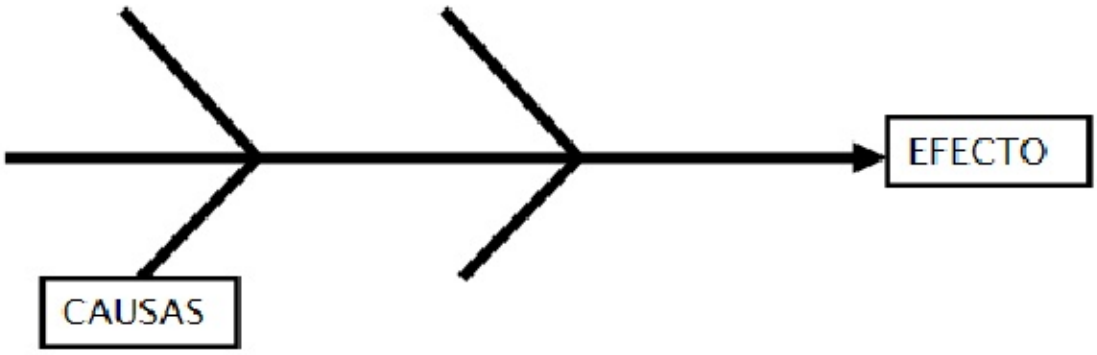


¿Cómo elaborar diagramas de causa-efecto?

Elaborar un diagrama de causa-efecto que sea útil no es tarea fácil. Puede afirmarse que quienes tienen éxito en hacer diagrama de causa-efecto que sean útiles. Hay muchas maneras de hacer el diagrama, pero aquí se describirán dos métodos típicos.

Antes de presentar los procedimientos, se explicará la estructura del diagrama de causa-efecto con un ejemplo.

Un diagrama de Causa-Efecto también se llama "diagrama de Espina del Pescado" , porque se parece al esqueleto de un pez, como se ve en la siguiente figura:



Paso 5.
Registre cualquier información que pueda ser de utilidad.

Explicación del procedimiento.

Con frecuencia puede parecer difícil proceder cuando se utiliza este enfoque. El mejor método en ese caso es considerar la "variación". Por ejemplo, observe la variación en la característica de calidad cuando reflexiona en los huesos grandes. Si los datos muestran que esa variación existe, observe por qué. Una variación en el efecto puede ser causada por una variación en los factores. Este tipo de reflexión puede ser muy eficaz.

Por ejemplo, cuando usted está elaborando un diagrama de causa-efecto relacionado con cierto defecto, puede descubrir que hay una variación en el número de defectos que ocurren en días diferentes de la semana. Si el efecto ocurre con más frecuencia los lunes que en cualquier otro día de la semana, usted puede reflexionar como sigue: "¿Por qué ocurrió el defecto?".

"¿Por qué ocurrió el defecto con mayor frecuencia los lunes que en cualquier otro día de la semana?". Esto lo hará buscar factores que hacen que el lunes sea diferente de los otros días, lo cual le permitirá descubrir finalmente la causa de los otros días, lo cual permitirá descubrir finalmente la causa del efecto.

Una vez completo el diagrama de causa-efecto, el paso siguiente es asignar la importancia de cada factor. Todos los factores del diagrama no se relacionan necesariamente en forma estrecha con la característica, Marque estos factores que parecen tener un efecto particularmente significativo sobre la característica.

Finalmente, incluya cualquier información que pueda ser de utilidad en el diagrama, tal como el título, el nombre del producto, el proceso o grupo, la lista de participantes la fecha, etc.

Notas sobre los diagramas de causa-efecto.
Sugerencias para elaborar los diagramas de causa-efecto.

1. Identificar todos los factores relevantes mediante consulta o discusión entre muchas personas. Los factores que influyen más fuertemente sobre la

característica deben determinarse entre aquellos que aparecen en el diagrama, aparecerá más tarde. En consecuencia, la discusión entre todas las personas involucradas es indispensable para preparar un diagrama completo que no tenga omisiones.

2. Exprese las características tan concretamente como sea posible. La característica que se expresa en términos abstractos dará como resultado una causa-efecto basado en generalidades. Aunque este tipo de diagramas no tenga errores básicos desde el punto de vista de las relaciones causa-efecto, no será muy útil para resolver problemas reales.

3. Haga un diagrama para cada característica. Los errores en el peso y en la longitud del mismo producto tendrán estructuras diferentes de causa-efecto, y deben analizarse en dos diagramas separados. El intento de incluir toda en un solo diagrama dará resultado un diagrama inmanejable por ser demasiado grande y complicado, lo cual hará que la solución de los problemas sea muy difícil.

4. Escoja una característica y unos factores medibles. Una vez completo el diagrama de causa-efecto, es necesario captar la fuerza de la relación causa-efecto en forma objetiva utilizando datos. Con este fin, tanto la característica como los factores causales deben ser medibles. Cuando es imposible medirlos, usted debe tratar de hacerlos medibles, o encontrar características sustitutas.

5. Descubra factores sobre los que sea posible actuar. Si usted identificado una causa sobre la cual es imposible actuar, el problema no se solucionará. Si se ha de mejorar, las causas deben subdividirse hasta el nivel en el cual sea posible actuar sobre ellas, o de lo contrario su identificación será un ejercicio sin sentido.

Sugerencias para el uso de los diagramas de causa-efecto.

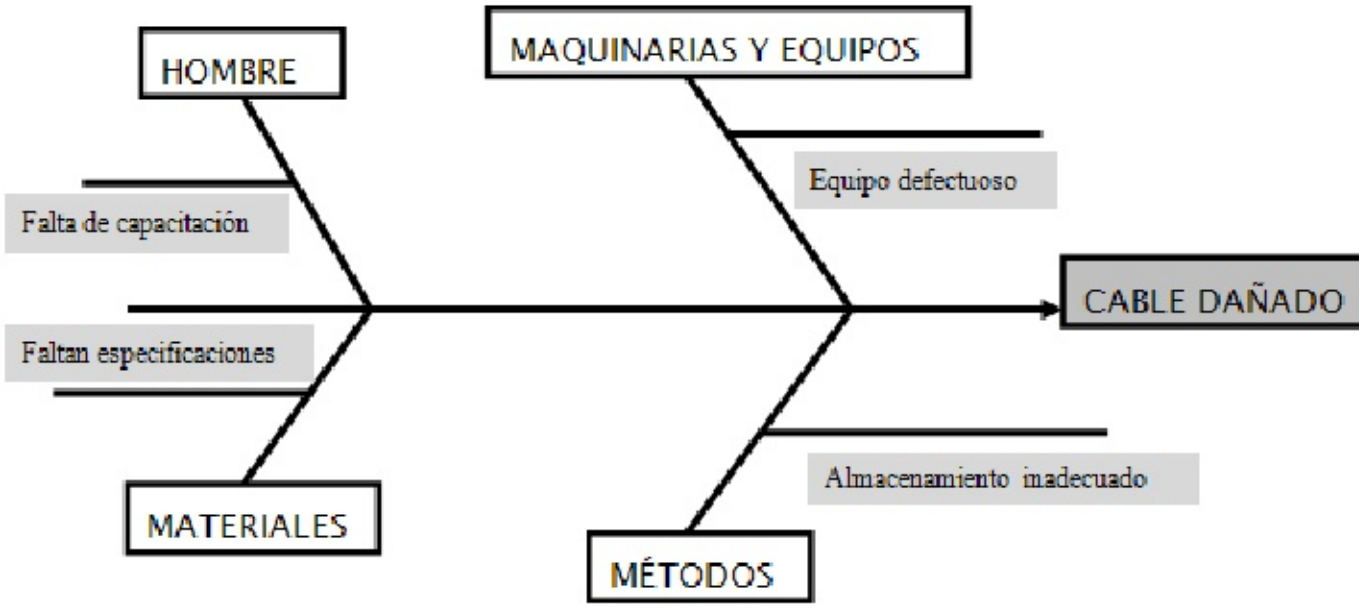
1. Asígnele importancia de cada factor objetivamente con base en datos. El examen de los factores con base en su propia habilidad y experiencia es importante, pero es peligroso juzgar su importancia únicamente con base en las percepciones o impresiones subjetivas: La mayoría de los problemas que pueden solucionarse usando ese enfoque ya se habrían podido solucionar, y

por lo tanto, la mayoría de los problemas restantes no pueden solucionarse usando ese enfoque. La asignación objetiva de la importancia a los factores usando datos es más científica y más lógica.

2. Trate de mejorar continuamente el diagrama de causa-efecto mientras lo usa. La utilización de un diagrama de causa-efecto le ayudará a identificar las partes que deben ser verificadas, omitidas o modificadas, así como a descubrir las partes que deben agregarse. Trate repetidamente de mejorar su diagrama, finalmente obtendrá un diagrama realmente útil. Esto le permitirá solucionar problemas y al mismo tiempo, le ayudará a mejorar su habilidad y a incrementar su conocimiento técnico.

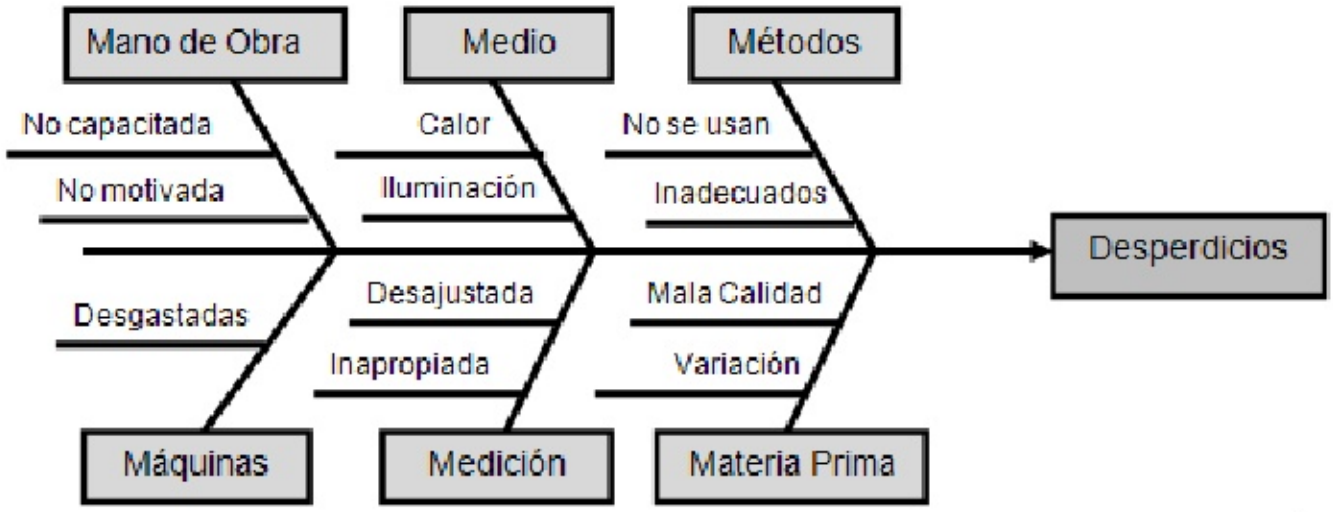
Ejemplo 1:

En una empresa manufacturera al aplicar el diagrama causa-efecto obtuvo los siguientes resultados:



Ejemplo 2:

El siguiente diagrama de Ishikawa es un ejemplo hipotético, para encontrar las causas de desperdicio en el área de árboles de levas.



11.6. EVALUAR LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN.

La evaluación de los sistemas de medición consiste en determinar la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de estabilidad, repetitividad, reproducibilidad, linealidad y exactitud.

> Un sistema de medición "es la colección de operaciones, procedimiento, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para asignar un número a la característica que está siendo medida".

Importancia de las mediciones.

Las mediciones son muy importantes en toda empresa, pues con base en ellas se evalúa el desempeño de las mismas, de sus equipos, de su gente y se toman decisiones importantes y a veces costosas .

La calidad de un sistema de medición se caracteriza por sus propiedades estadísticas: insesgado y varianza cero (idealmente). La evaluación de un sistema de medición significa examinar su variación y los factores que la afectan.

Diferencia entre precisión y exactitud.

La siguiente figura muestra cuatro casos de disparos a un blanco fijo. Se detalla también la evaluación de los disparos desde el punto de vista de su precisión y exactitud. Precisión: se refiere a la variación o dispersión de los disparos. Poca variación significa un buen grado de precisión. Exactitud: se define con respecto

a su cercanía (sesgo) con el centro del blanco. Mayor cercanía implica un buen grado de exactitud.

Estabilidad.
Es la cantidad de variación en exactitud sobre cierto periodo. Sin evaluar la estabilidad no es posible asegurar evaluaciones confiables sobre las demás propiedades estadísticas.

Repetibilidad (precisión).
Es la variación en las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se define como la variación alrededor de la media. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso.

Reproducibilidad.
Variación entre medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición.

11.7. EVALUAR LA CAPACIDAD DEL PROCESO.

Una vez ajustado el proceso y disminuido su variación se evalúa la capacidad del proceso.

Un estudio de capacidad es un procedimiento ordenado de planeación, recolección y análisis de información, con la finalidad de evaluar la estabilidad de un proceso, y la capacidad que éste tiene para producir dentro de especificaciones.

Los estudios de capacidad miden la variación y el centrado de un proceso con respecto a sus especificaciones.

Gráficas de control.

Los gráficos de control son herramientas estadísticas que muestran el comportamiento de cierta característica de calidad de un proceso con respecto al tiempo.

El objetivo de las gráficas de control es evaluar, controlar y mejorar procesos.

Las causas de variación se clasifican en causas comunes y causas especiales.

Las causas comunes se deben al sistema: diseño deficiente, materiales inadecuados, la mala iluminación, etc. Se pueden definir como la circunstancia particular de cada sistema.

Las causas especiales, se deben a situaciones particulares y no afectan a todos: máquinas desajustadas, métodos ligeramente alterados, diferencias entre trabajadores, etc.

Las gráficas de control sirven para distinguir entre causas comunes y causas especiales de variación. Distinguir estos dos tipos de causas indica cuándo es necesario actuar en un proceso para mejorarlo y cuándo no hacerlo, pues sobreactuar en un proceso estable provoca más variación.

Un proceso estable, solamente está sujeto a causas comunes de variación (pueden existir también algunas causas especiales de variación pero su efecto sería despreciable), o lo que se conoce como un sistema constante de causas, está en control estadístico y por tanto su variación es predecible dentro de los límites de control.

No significa que necesariamente el proceso tena poca variación o se encuentre dentro de especificaciones. El mejoramiento del proceso se debe dar a través del sistema. Su capacidad se puede predecir.

En el caso de un proceso inestable; no necesariamente tiene gran variación, sin embargo esta no es predecible. El mejoramiento del mismo generalmente de logra a través del personal del área.

Concretamente las gráficas de control se utilizan:

1. •Para evaluar el desempeño de un proceso por medio de estudios de capacidad.
2. •Para mejorar el desempeño de un proceso al dar indicaciones sobre las posibles causas de variación y ayudan a la prevención de problemas.
3. •Para mantener el desempeño de un proceso al indicar el tiempo de ajuste del mismo.

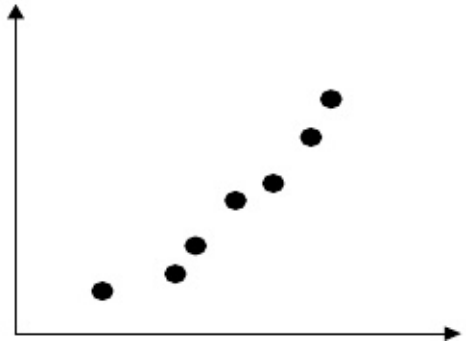
11.8. OPTIMIZAR Y ROBUSTECER EL PROCESO.

Después de evaluar la estabilidad y capacidad del proceso, si esta última resultara insatisfactoria, se deberá optimizar el proceso. Para ello se puede incorporar principalmente un análisis de regresión.

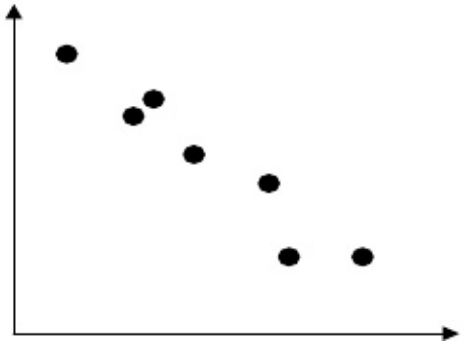
Diagrama de dispersión.

El diagrama de dispersión es una gráfica simple entre dos variables, su objetivo es visualizar el tipo y el grado d relación entre esas dos variables.

La figura siguiente muestra los tipos de relación de un diagrama de dispersión.



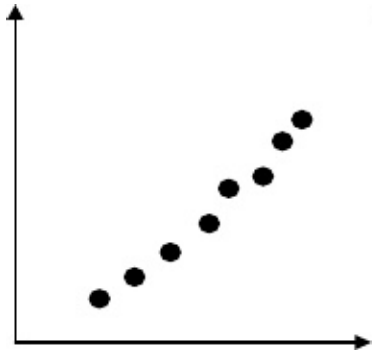
Directa



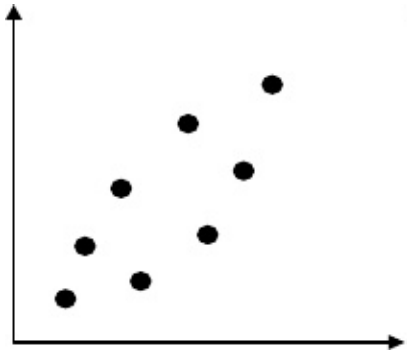
Indirecta

La relación directa indica que si una variable crece o decrece, la otra se moverá en la misma dirección. La relación inversa indica lo opuesto a lo descrito anteriormente.

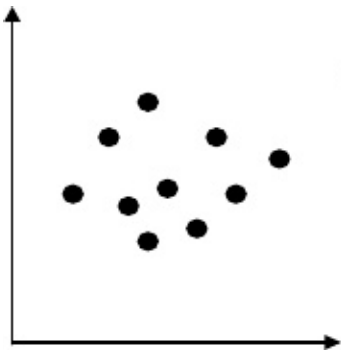
La figura siguiente muestra los grados de relación entre dos variables:



Fuerte



Débil



Nulo

El análisis de regresión es una técnica usada para relacionar a través de un modelo una o más variables, independientes con una variable dependiente (respuesta).

Sus usos incluyen lo siguiente:

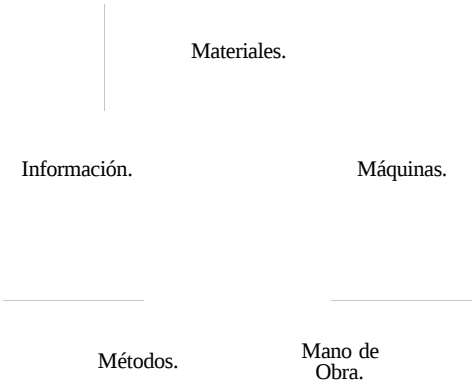
1. Descripción: representar el comportamiento de un proceso.
2. Predicción y estimación: predicción es con base en un valor x desconocido. Estimación es con base en un valor conocido de x.
3. Control: para obtener cierta respuesta deseada del proceso.

11.9. CONTROLAR EL PROCESO.

En este paso se deberá monitorear y mantener en control al proceso.

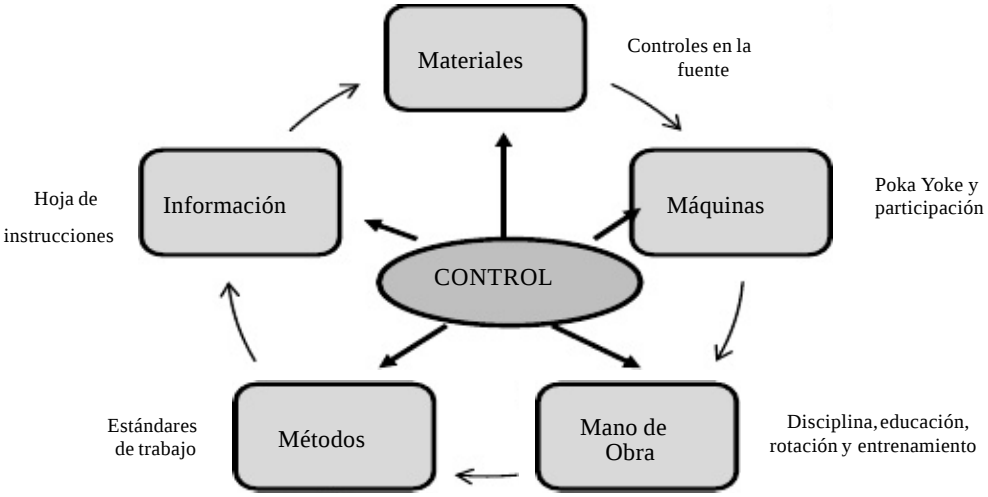
Elementos de la producción. Son: métodos, materiales, mano de obra, maquinas e información.

Dichos elementos de la producción están interactuando dentro de una planta, en forma parecida a la mostrada en la siguiente figura:



Para que el número de problemas sea reducido, al igual que un mejoramiento en el desempeño del proceso, es necesario un factor muy importante relacionado con cada uno de los elementos de la producción. Este factor vital es el control de todos los elementos mostrados en la figura anterior. (Ver la siguiente figura)

Se puede definir control como un grupo de acciones encaminadas a mantener una situación en un estado deseado.



Problema 1.

En una fábrica textil se observa que durante un mes 15 trabajadores, han producido una determinada cantidad de metros de tela defectuosa.

Se pide determinar a los trabajadores que están ocasionando el mayor porcentaje de tela defectuosa.

Tejedores	Metros de tela defectuosa
Q	2
M	3
N	2
L	3
A	106
E	14
K	3
B	81
J	5
D	21
G	9
P	2
H	8
F	13
C	51

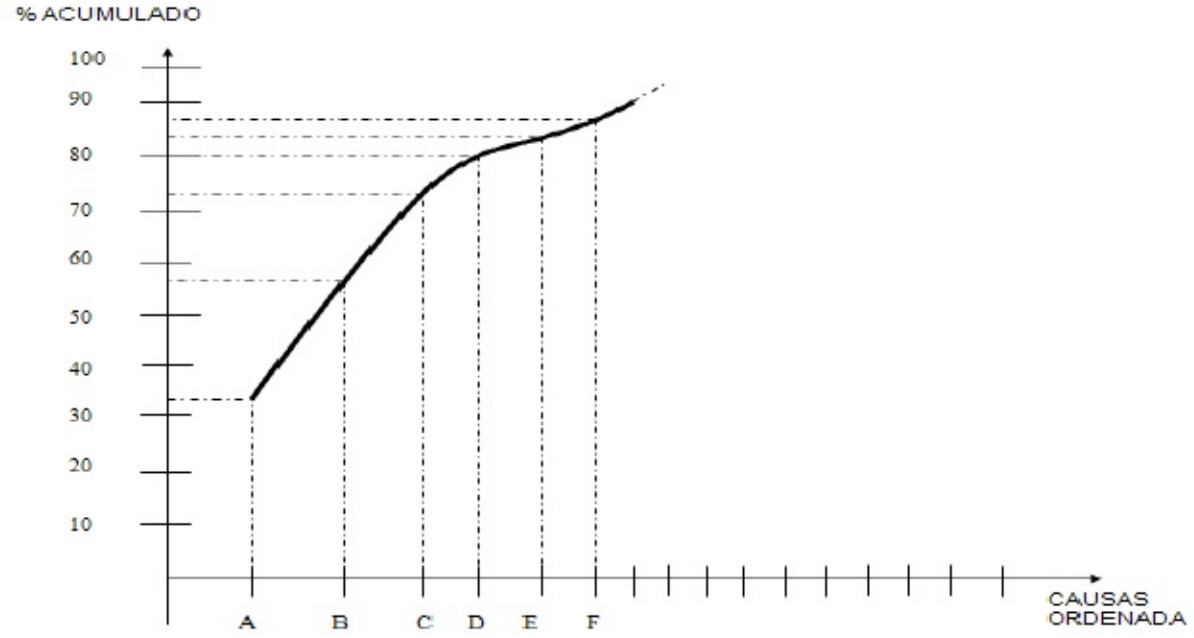
Solución:

1. Identificar el efecto que le interesa analizar, en este problema el efecto que se presenta es el exceso de metros de tela defectuosa.

2. Hacer una lista de todos los trabajadores que están ocasionando los metros de tela defectuosa, en este caso ya es dato y es la tabla anterior.
3. Ordene los metros de tela defectuosa de mayor a menor.

Tejedor	Tela defectuosa	% relativo	% acumulado
A	106	33	33
B	81	25	58
C	51	16	74
D	21	6	80
E	14	4	84
F	13	4	88
G	9	3	91
H	8	2	93
I	5	2	95
K	3	1	96
L	3	1	97
M	3	1	98
N	2	1	99
P	2	1	100
Q	2	1	100
15	323		

CURVA ABC o CURVA DE PARETO.



NOTA: Uniendo los puntos y se obtendrá la curva de Pareto o la curva ABC.

EN LA CURVA ABC, se distingue tres grandes zonas:

- Zona “1”, están comprendidos todo los elementos entre 0 y 75% acumulado.
- Zona “2”, donde están comprendidos los elementos entre el 75% y el 95% acumulado.
- Zona “3”, donde están comprendidos los elementos entre 95% y el 100% acumulado.

CONCLUSIONES:

- En el problema anterior se observa que los trabajadores A, B, C son los que ocasionan el mayor porcentaje de telas defectuosas en consecuencias son los “pocos vitales”.
- Los trabajadores D a J se encuentran en la zona 2 y son de mediana importancia.
- Los trabajadores de K a Q se encuentran en la zona 3, es decir, la zona de los “muchos triviales” o de poca importancia.

Problema 2

“CRISTALES DEL PERÚ”.

Cristales del Perú, es uno de los principales fabricantes de artículos de vidrio y de cristal, dentro de los cuales se encuentra la vajilla utilizable en hoteles, bares, restaurantes y hogares.

Sus novísimas oficinas generales, ubicadas en Lima, son un alarde de diseño, que refuerza la imagen general de la compañía, como productora de artículos de alta calidad pionera en el uso de las más novedosas técnicas de publicidad y marketing.

La compañía diseña y produce toda gama de productos que comprenden envases de vidrios de toda forma y tamaño, vidrio plano en sus distintas variedades, tubos

de ensayo y como queda dicho una línea completa de vajillas para uso comercial y familiar.

Dentro de esta línea, se distinguen sus copas “Durasur”, cuya principal característica es la de incorporar la tecnología de vidrio templado irrompible, de uso tradicional solo en vasos y platos.

Desde su aparición estas copas han venido contribuyendo directamente a las utilidades de la empresa, al punto que hoy en día, Cristales del Perú es la principal industria del ramo en Perú, con más del 56% del mercado global e importantes negocios de exportación.

Hace siete semanas, la compañía empezó a recibir quejas de sus distribuidores de sus copas “Durasur” y “Privacy”, este último producto destinado a uso familiar.

Los distribuidores protestan porque reciben copas rotas en la parte superior, hasta el momento de un total de 1000 000 copas fabricadas, 120 000 han resultado deterioradas, según los informes recibidos.

Los distribuidores están indignados y han amenazado con cancelar futuros pedidos si los problemas persisten.

Guillermo Altavista, Gerente de producción, se está ocupando personalmente del problema, para tratar de hallar las causas, lo antes posible.

Todo lo que sabe Guillermo, es que los reclamos se refieren solo a las copas “Privacy”, fabricadas en la compañía de Avellaneda, la otra variedad de copas “Durasur” no se han visto aun afectadas, si bien Claudio Rinaldi, gerente de control de calidad, aguarda que las “Comercy” una variedad de las “Durasur” presenten más adelante el mismo problema.

Ambas copas se fabrican en la misma planta y con los mismos procedimientos, “las Privacy” sin embargo son algo más pequeñas y cuestan unos soles menos que las “Comercy”.

Después de haber realizado investigaciones, se ha podido detectar que todas las quejas provienen de los distribuidores ubicados en el Callao y en Lima, los despachos a estas zonas se hacen por camión.

Los distribuidores del interior aún no se han quejado debido a las grandes distancias desde la planta, los despachos a los distribuidores al interior se hacen por avión.

También se sabe que el problema aparece ni bien se abren las cajas en el interior del local del distribuidor, así como también en los locales de los minoristas.

La gerencia está convencida que el problema, tal vez obedece a los nuevos empleados de la sección despacho, que comenzaron a trabajar hace unas tres semanas en la planta.

Desde un comienzo estos empleados no han hecho más que quejarse de las condiciones de trabajo en la planta y corren rumores de paros y hasta de sabotajes, nacidos del descontento laboral.

Julián Ferraro, gerente de personal, hombre de recursos expeditivos, quiere despedirlos y poner punto final así al problema, potros no están muy convencidos de que éste sea la medida más conveniente, la naturaleza esporádica del problema y su reciente aparición tiene sumida a la empresa en la más profunda confusión.

Las verificaciones efectuadas al azahar en la planta, no han revelado nada anormal y hasta el mismo embalaje lanzado al mercado hace unos dos meses, en laboratorio también verifico resultados positivos.

Este nuevo embalaje, más liviano, aun cuando resulta más caro, es menos pesado que las cajas de madera que la compañía utilizaba anteriormente, las quejas siguen llegando y el pánico se ha adueñado de Cristales del Perú.

Usted forma parte de un grupo de trabajo, nombrado por el comité de control de calidad, cuya principal responsabilidad es:

Determinar las causas del problema, utilizando el Diagrama Causa-Efecto.

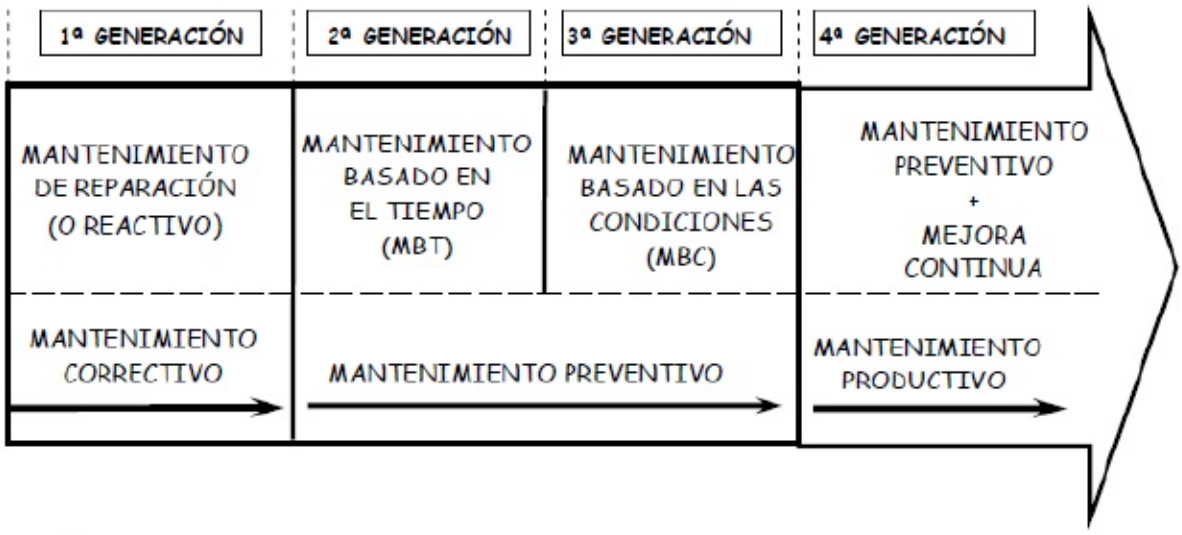
CAPÍTULO 12. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (MPT).

12.1. EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO HACIA EL TPM.

La búsqueda de la competitividad de la empresa en el mercado actual, nos lleva sin duda a un replanteamiento de los sistemas de gestión del mantenimiento. No se alcanzará la competitividad sin una correcta gestión de la producción y a la vez del mantenimiento de los equipos, para alcanzar los objetivos de calidad, productividad y rendimiento esperados.

Es por este motivo, que la estrategia convencional de "reparar cuando se produzca la avería" dejó de ser válida cuando se fue consciente de que suponía unos costes excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc.). Por ello, las empresas industriales se plantearon implantar procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de Mantenimiento.

La evolución del mantenimiento se estructura en cuatro generaciones:



- Primera generación. El período anterior a 1950 se caracteriza por la aplicación del Mantenimiento de Reparación (o Correctivo), basado exclusivamente en la reparación de averías. Solamente se llevaba a cabo ante la detección de una avería y, una vez ejecutada la reparación, todo acababa aquí.

- Segunda generación. Alrededor de 1950, se establecen las bases del Mantenimiento Preventivo, un nuevo enfoque que busca por encima de todo la rentabilidad económica, en base a la máxima producción. Se establecen funciones de mantenimiento orientadas a detectar y/o prever posibles fallos antes de que sucedan. En este período se reducen los fallos inesperados, y asimismo, el coste asociado al Mantenimiento. En esta etapa, queda demostrada la relación entre la eficacia económica y el mantenimiento. Aumenta el grado de planificación y aparece el concepto de Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo (MBT), que trata de planificar las actividades de mantenimiento del equipo de forma periódica, sustituyendo en el momento adecuado las partes que se prevean de dichos equipos, para garantizar su buen funcionamiento.

- Tercera generación. El Mantenimiento Basado en las Condiciones (MBC) planifica el control a ejercer sobre el equipo y sus partes, para asegurar que se reúnan las condiciones necesarias para una operativa correcta y se puedan prevenir posibles anomalías.

- Cuarta generación. Las necesidades y las exigencias aumentan, y aproximadamente en 1960, se incorpora y desarrolla el Mantenimiento Productivo, que abarca todos los anteriores e incluye un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) comienza a implementarse en Japón durante los años sesenta. Es un programa de gestión del mantenimiento efectivo e integrado que engloba a los anteriores, e introduce conceptos innovadores:

· La participación activa de toda la organización, en alcanzar los objetivos propuestos por la empresa.

- T de la palabra "total" se interpreta como "todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa" y se refiere a tres aspectos clave:
  - Participación total del personal.
  - Eficacia total (máximo rendimiento de los equipos y máxima rentabilidad económica).
  - Sistema de gestión total del mantenimiento desde su diseño hasta la prevención.

- P está vinculada a la palabra "productivo" o "productividad" de equipos, o incluso se puede asociar a un término con una visión más amplia como "perfeccionamiento".

- M representa acciones de "management" y "mantenimiento". Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa.

12.3. OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS DEL TPM.

La meta del TPM es maximizar la eficiencia global del equipo en los sistemas de producción, es decir, tener cero pérdidas a nivel de todos los departamentos.

Pretende lograr "Cero accidentes, cero defectos y cero averías".

Los objetivos principales del TPM son los siguientes:

- Maximizar la eficacia global del equipo (EGE) mediante la implicación total de los empleados.

- Mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos, mejorando así la calidad y productividad.
- Desarrollo de un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida del equipo.
- Crear un sentido de la propiedad.
- Promover la mejora continua a través de actividades de pequeños grupos que involucran a todo el personal.
- Crear un entorno de trabajo vigoroso y entusiasta.

A nivel operativo el TPM logra que:

- Cada operador sea responsable por su(s) máquina(s), y realice tareas de mantenimiento básicas tales como limpiar, lubricar, inspeccionar visualmente, reportar si observa anomalías .
- Formar pequeños grupos de trabajo para discutir problemas de mantenimiento, sugerir mejoras y lograr una visión común del conjunto mantenimiento empresa.

Algunas características importantes del TPM son:

- La participación de todas las personas de la organización.
- La intervención del personal involucrado en la operación y producción en el cuidado y conservación de los equipos y recursos físicos.
- Está orientado a la mejora de la Efectividad Global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando.
- Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

12.4. LAS GRANDES PÉRDIDAS.

La mejora de la efectividad se obtiene eliminando las “Seis Grandes Pérdidas” que interfieren con la operación, a saber:

1. Fallos del equipo, que producen pérdidas de tiempo inesperadas.
2. Puesta a punto y ajustes de las máquinas, que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación u otra etapa de ella. Por ejemplo, al inicio en la mañana, al cambiar de lugar de trabajo, al cambiar una matriz o hacer un ajuste.

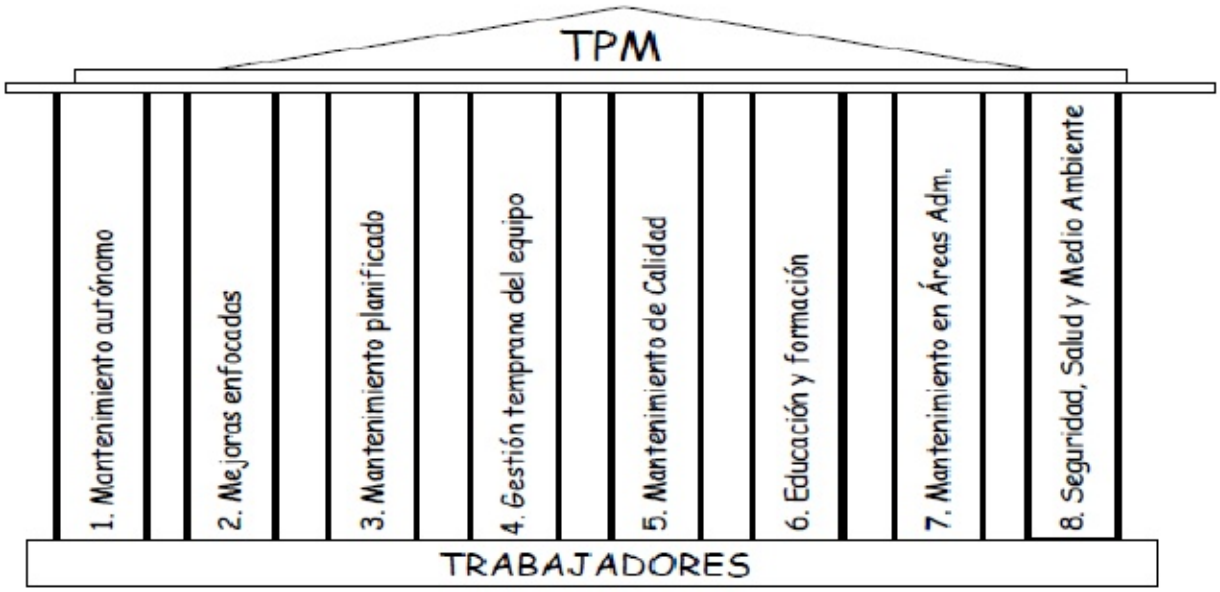
3. Marchas en vacío, esperas y detenciones menores durante la operación normal que producen pérdidas de tiempo, ya sea por la operación de detectores, buzones llenos, obstrucciones en las vías, etc.
4. Velocidad de operación reducida, que produce pérdidas de tiempo al no obtenerse la velocidad de diseño del proceso.
5. Defectos en el proceso, que producen pérdidas de tiempo al tener que rehacer partes de él o reparar piezas defectuosas o completar actividades no terminadas.
6. Pérdidas de tiempo propias de la puesta en marcha de un proceso nuevo, marcha blanca, periodo de prueba, etc.

El análisis cuidadoso de cada una de estas causas de baja productividad lleva a encontrar las soluciones para eliminarlas y los medios para implementar estas últimas.

Es fundamental que el análisis sea hecho en conjunto por el personal de operaciones y mantenimiento porque los problemas que causan la baja productividad son de ambos tipos y las soluciones deben ser adoptadas en forma integral para que tengan éxito.

12.5. LOS 8 PILARES FUNDAMENTALES.

El Mantenimiento Productivo Total se sustenta en unos procesos fundamentales llamados "pilares", que a su vez se apoyan en todas las personas de la organización.



PILAR 1. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.

Es uno de los pilares básicos del TPM; se basa en la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento.

Se busca un cambio cultural, implicando a los operarios en el cuidado de los equipos para crear un sentimiento de propiedad. En general, ellos son los más indicados para detectar posibles fallos o desviaciones, ya que están permanentemente en contacto con los equipos y conocen perfectamente el proceso.

Así, se les debe formar para que sean capaces de:

- Entender la importancia de una limpieza y lubricación correctas.
- Entender la importancia de realizar inspecciones preventivas.
- Detectar anormalidades en los equipos y restaurarlas .
- Participar en el análisis de problemas, etc.

El Instituto Japonés de Mantenimiento Plantas (JIPM) ha desarrollado un método de siete pasos cuyo objetivo es lograr el cambio de actitud indispensable para el éxito del programa.

Los pasos son:

Paso 1. Aseo inicial. Limpiar la máquina de polvo y suciedad, a fin de dejar todas sus partes perfectamente visibles. Implementar un programa de lubricación, ajuste sus componentes, descubra y repare todos sus defectos de funcionamiento.

Paso 2. Medidas para descubrir las causas de la suciedad, el polvo y las fallas. Evite las causas de la suciedad, el polvo y el funcionamiento irregular, mejore los lugares que son difíciles de limpiar y de lubricar, reduzca el tiempo que se necesita para limpiar y lubricar.

Paso 3. Preparación de procedimientos standard de aseo y lubricación. Prepare procedimientos de comportamiento standard con el objeto que las actividades de aseo, lubricación y ajustes menores de los componentes se puedan realizar en tiempos cortos. Este procedimiento debe servir como estructura de referencia del tiempo necesario a diario o periódicamente.

- Ocio y paradas menores.
- Reducción de velocidad.
- Defectos en el proceso.
- Arranque.

- Recursos humanos:
  - Gerenciales.
  - Movimientos.
  - Arreglo/ acomodo.
  - Falta de sistemas automáticos.
  - Seguimiento y corrección.

- Proceso productivo:
  - De los recursos de producción.
  - De los tiempos de carga del equipo.
  - Paradas programadas.

Por lo expuesto anteriormente se sabe que las pérdidas se pueden clasificar en pérdidas del equipo, recursos humanos y proceso productivo, subdividiéndose cada una en 8, 5 y 3 pérdidas respectivamente sumando las famosas 16 pérdidas que se busca eliminar en el TPM.

Ahora bien antes de pasar a otro punto es importante destacar algunas posibles causas de las pérdidas en los equipos, muchas veces ocurre que las máquinas y/ o equipos se deterioran por falta de un buen programa de mantenimiento o simplemente porque los encargados de observar y corregir estas fallas aceptan estas pérdidas, cuando debería ocurrir todo lo contrario, los equipos deberían funcionar bien desde la primera vez y siempre.

Los costos de manufactura por lo general pueden distribuirse de la siguiente manera:

- 10% mano de obra.
- 30% administración.
- 60% producción.

Al ver esta distribución de costos, resulta obvio el hecho de que al reducir las pérdidas en el área de producción se reducirán más de la mitad de las pérdidas.

PILAR 3. MANTENIMIENTO PLANIFICADO.

Éste es también uno de los pilares más importantes, su propósito es alcanzar la meta "cero averías" en la fábrica. Incluye las acciones que los técnicos de mantenimiento deben desarrollar para mejorar la eficacia del sistema.

Objetivo: "Lograr mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas".
Concepto: "Un conjunto de actividades sistemáticas y metódicas para construir y mejorar continuamente el proceso".

La idea del mantenimiento planeado es la de que el operario diagnostique la falla y la indique con etiquetas con formas, números y colores específicos dentro de la máquina de forma que cuando el mecánico venga a reparar la máquina va directo a la falla y la elimina.

Este sistema de etiquetas con formas, colores y números es bastante eficaz ya que al mecánico y al operario le es más fácil ubicar y visualizar la falla.

PILAR 4. GESTIÓN TEMPRANA DEL EQUIPO.

Este pilar tiene como objetivo mejorar la tecnología de los equipos, y por lo tanto, actúa sobre todo durante la planificación y construcción de los mismos.

Son actividades de mejora en el diseño y puesta a punto de los equipos, para reducir los costos durante su explotación.

PILAR 5. MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD.

Es una estrategia de mantenimiento que tiene como propósito establecer las condiciones del equipo en el punto "cero defectos", para mejorar la calidad del producto.

Se incluyen acciones orientadas a verificar y medir las condiciones "cero defectos" regularmente y facilitar la operación de los equipos en la situación donde no se generen defectos de calidad.

PILAR 6. EDUCACIÓN Y FORMACIÓN.

Este pilar está orientado a fortalecer las habilidades y capacidades del personal, para lograr altos niveles de desempeño.

Se requiere un personal capaz de:

- Comprender el funcionamiento de los equipos y poder detectar anomalías.
- Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.
- Analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones.

PILAR 7. MANTENIMIENTO EN ÁREAS ADMINISTRATIVAS.

Este pilar pretende reducir las pérdidas que se producen en todas las actividades no involucradas en el equipo productivo (planificación, desarrollo, administración).

Aunque no producen un valor directo como producción, facilitan el apoyo necesario para que el proceso productivo funcione eficientemente. Este pilar ayuda a evitar pérdidas de información, coordinación, precisión, etc.

PILAR 8. GESTIÓN DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE.

Este pilar tiene como propósito crear un sistema de gestión integral de seguridad, para prevenir riesgos que puedan afectar a la integridad de las personas o efectos negativos al medio ambiente. Pretende lograr “cero accidentes” y “cero incidentes medioambientales”.

12.6. IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

El Japanese Institute of Plant Management sugiere los siguientes pasos:

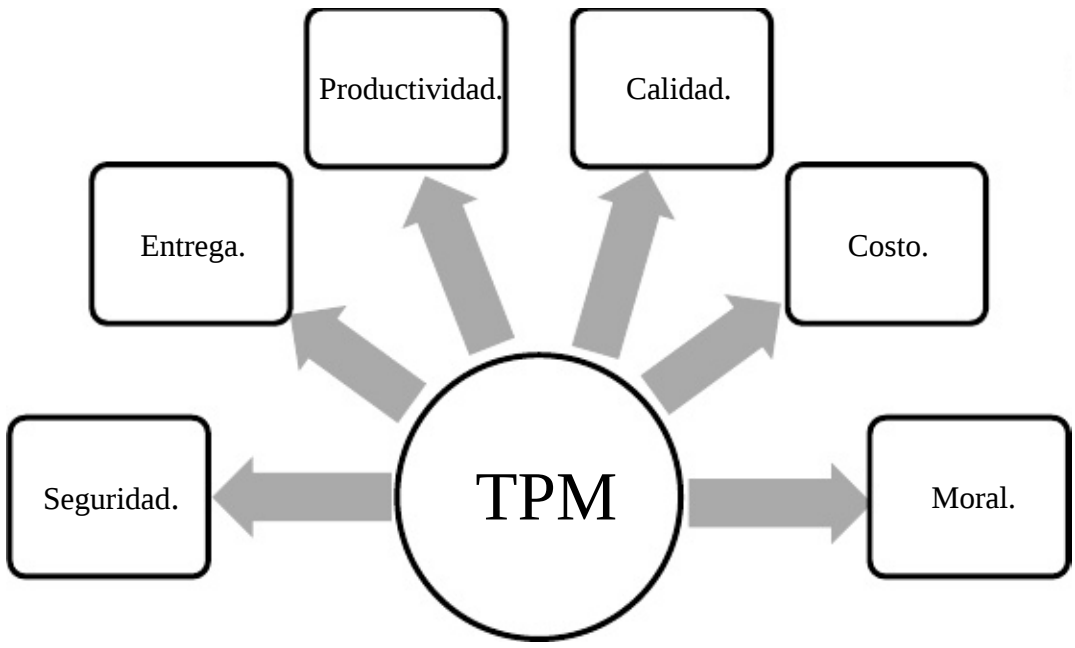
1. Decisión al más alto nivel.
2. Campaña de información y educación con encuentros y seminarios.
3. Implementando medios de promover las ideas del TPM.
4. Elaborar un informe sobre el estado de los equipos.
5. Establecer un programa de implementación de medio plazo.

6. Ponerlo en marcha.
7. Incrementar la disponibilidad de cada máquina.
8. Desarrollo del auto mantenimiento.
9. Optimizar, desde el punto de vista económico, el nuevo servicio de mantenimiento.
10. Entrenamiento de los operadores, vistas sus nuevas labores.
11. Ajuste de la gestión a las nuevas prácticas.
12. Después de un plazo debido, medir resultados y establecer nuevos objetivos: el proceso es iterativo.

12.7. BENEFICIOS Y RESULTADOS DEL TPM.

Un proyecto de implantación de TPM debe llevarse a cabo de forma continuada y constante (por ejemplo 3 años) para obtener resultados satisfactorios. Del mismo modo, es necesario que éste tenga un marco coherente con la estrategia global de la empresa y cuente con el impulso y soporte de la Alta Dirección.

Previamente, se establecen objetivos de negocio que deben compartirse con toda la organización, y que a su vez deben suponer un reto importante pero inalcanzable. Estos objetivos deben abarcar seis ámbitos distintos: Productividad, Calidad, Costo, Entrega, Seguridad y Moral.



En cada ámbito se puede fijar unos indicadores determinados, de forma que los resultados obtenidos en cada uno de ellos sean fácilmente cuantificables. Unos ejemplos de indicadores se muestran en la siguiente tabla.

P (Productividad)	1. Aumento de la Efectividad Global de los Equipos. 2. Reducción del número de averías
Q (Calidad)	1. Reducción de la tasa de defectos 2. Reducción de la tasa de reproceso 3. Reducción del número de reclamaciones de clientes
C (Coste)	1. Reducción del coste de Producción 2. Reducción del coste de Mantenimiento 3. Reducción del coste de Materiales Y Energía
D (Entrega)	1. Reducción de Inventarios de productos 2. Reducción de Inventarios de recambios
S (Seguridad)	1. Eliminar el número de accidentes 2. Eliminar Incidentes medioambientales
M (Moral)	1. Incremento del número de sugerencias de mejora por persona y año 2. Incremento de las actividades de pequeños grupos de trabajo

Por lo tanto, los beneficios que se esperan obtener de la implantación del TPM y que se deducen de lo comentado previamente son:

- Mejora de la productividad.
- Reducción de los costes.
- Mejora de la calidad del producto final.
- Entregas a tiempo.
- Máxima seguridad.
- Mayor motivación del trabajador.

Y por otro lado, el TPM también proporciona beneficios intangibles, destacan los siguientes:

- Creación de un sentido de la propiedad (ownership), donde los operarios asumen la responsabilidad del equipo y se obtiene una implicación total.

- Mayor confianza y capacidad de identificación de problemas potenciales y de búsqueda de acciones correctivas.
- Se adquiere la mentalidad de “cero averías, cero defectos y cero accidentes”.
- Se ofrece una mejor imagen a los visitantes y clientes.
- Mejora de los lugares de trabajo, teniendo un entorno grato y seguro.
- Se eliminan barreras interdepartamentales y mejora de la cooperación entre operarios y dirección.

BIBLIOGRAFÍA

- Chapman, Stephen . Planificación y Control de la Producción. Editorial Pearson Educación, México, 2006.
- Chase, Aquilano y Jacobs. Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros . Duodécima edición. México. Editorial McGraw-Hill, 2009.
- Chase, Richard; Aquilano, Nicholas Dirección y administración de la producción y de las operaciones . Editorial Mc Graw Hill, 1995
- Domínguez Machuca, J. A. Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios. Primera edición. Madrid. Editorial McGraw-Hill, 1995
- Escalante Vásquez, Edgardo . Seis – Sigma: Metodologías y Técnicas. Editorial Limosa, S.A., México 2003
- Hay, Edward J. Justo a Tiempo . Editorial Norma, Colombia, 2003.
- Hirano, Hiroyuki. Manual para la implantación del "Just In Time" Editorial Tecnologías de gerencia y producción, S.A., 2003.
- Jones, Daniel T. y James P. Womack. Pensamiento Esbelto. Editorial Gestión 2000, 2005.
- Kong, Maynard. Investigación de Operaciones. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010.
- Krajewski, l., Malhotra Ritzman. Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor. Editorial Pearson Educación, México, 2008.
- Louis, Raymond S. Integración del Kanban con el MRP II: Automatización del Kanban para eliminar el despilfarro. Editorial Tecnologías de gerencia y producción, S.A., 1999.

· Noori. Hamid Administración de Operaciones y Producción. Editorial Mc Graw Hill, 1997.

· Schroeder, R. Administración de Operaciones: conceptos y casos contemporáneos. Segunda edición. México. Editorial McGraw-Hill, 2005.

· Sekine, Kenichi. Diseño de Células de Fabricación: Transformación de las